



**Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban  
Pada *Prototype Greenhouse* Tanaman Kedelai dengan  
Pemanfaatan *Peltier* Menggunakan  
Metode *Fuzzy Logic***

**SKRIPSI**

oleh

**Mohammad Abdul Khamid  
NIM 111910201045**

**PROGRAM STUDI STRATA 1  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**



**Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban  
Pada *Prototype Greenhouse* Tanaman Kedelai dengan  
Pemanfaatan *Peltier* Menggunakan  
Metode *Fuzzy Logic***

**SKRIPSI**

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

oleh

**Mohammad Abdul Khamid  
NIM 111910201045**

**PROGRAM STUDI STRATA 1  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, taufiq, serta hidayah yang sangat luar biasa kepada penulis sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik. Tidak lupa sholawat serta salam kita haturkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW yang menunjukkan kita sebagai manusia menuju jalan yang terang benderang dengan kehidupan yang lebih baik. Skripsi ini merupakan karya yang tidak pernah ternilai dan terlupakan bagi penulis yang selain sebagai syarat menyelesaikan program studi juga untuk kemajuan umat manusia agar lebih baik. Oleh karenanya karya ini ingin saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT, karena perlindungan, pertolongan, dan ridho-Nya penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik serta Nabi Besar Muhammad SAW;
2. Kedua orang tuaku, Ayahanda Suryono dan Ibunda Siti Syafa'ah, Adikku Ummi Latifah terima kasih dukungan, bantuan, serta doa restunya hingga selesainya studi ini;
3. Kerabat dan sanak keluarga, dan semua keluargaku yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan doa;
4. Dosen pembimbing skripsiku, Bapak Satriyo Budi Utomo, S.T., M.T. selaku DPU dan Bapak Sumardi, S.T., M.T. selaku DPA yang bersedia meluangkan waktu dan pikirannya guna memberikan bimbingan dan arahan demi terselesainya skripsi ini;
5. Dosen penguji 1, Bapak Bambang Supeno, S.T., M.T. dan Dosen penguji 2, Bapak M. Agung Prawira Negara, S.T., M.T. yang telah meluangkan banyak waktu dan pikiran guna memberikan pengarahan demi kemajuan dan terselesainya penulisan skripsi ini dengan baik;
6. Semua Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan membimbing selama kurang lebih empat tahun ini. Penulis sampaikan banyak terima kasih atas semua ilmu, didikan, dan pengalaman yang sangat luar biasa;
7. Sahabat-sahabatku Aditya Dharmawan, Fireno Eka W., dan Moh. Iskandar yang telah menemani, mengenalkan Jember serta membuatku betah hidup di

Jember dari awal masuk kuliah sampai semester akhir ini. Tidak lupa terima kasih kepada jajaran keluarga KOPI ASAP yang memberikan warna semasa kuliah;

8. Seseorang yang spesial, Rara Arini Pristantini, terima kasih atas semuanya, yang telah memeberikan perhatian, dorongan, serta semangat buatku;
9. Teman-teman elektro yang telah berjuang bersana di almamater tercinta, kehidupan bersama kalian adalah hal yang tidak akan terlupakan. Aku bangga menjadi bagian dari kalian;
10. Teman-teman kos yang sudah menemani dan menjalani hidup bersama sebagai seorang perantau. Serta Ibu dan Bapak kos yang berkenan menyediakan tempat tinggal yang sangat nyaman;
11. Semua pihak yang telah membantu dalam kelancaran pembuatan skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu;

## MOTTO

*“Barang siapa bersungguh-sungguh, sesungguhnya kesungguhannya itu  
adalah untuk dirinya sendiri”  
(QS Al-Ankabut : 6)*

*“Belajarlah dari hari kemarin, jalani hari ini, berharaplah untuk hari esok,  
Yang penting jangan berhenti bertanya”  
(Albert Einstein)*

*“Pendidikan merupakan perlengkapan paling baik untuk hari tua”  
(Aristoteles)*

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

nama : Mohammad Abdul Khamid

NIM : 111910201045

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis yang berjudul “**Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban Pada *Prototype Greenhouse* Tanaman Kedelai dengan Pemanfaatan *Peltier* Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.**

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

Jember, Oktober 2015  
Yang menyatakan,

Mohammad Abdul Khamid  
NIM 111910201045

**SKRIPSI**

**RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI SUHU DAN KELEMBABAN  
PADA *PROTOTYPE GREENHOUSE* TANAMAN KEDELAI DENGAN  
PEMANFAATAN *PELTIER* MENGGUNAKAN  
METODE *FUZZY LOGIC***

Oleh

Mohammad Abdul Khamid  
NIM 111910201045

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Satryo Budi Utomo, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Sumardi, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul **“Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban Pada *Prototype Greenhouse* Tanaman Kedelai dengan Pemanfaatan *Peltier* Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*”** telah diuji dan disahkan oleh Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember pada:

Hari : Selasa  
Tanggal : 27 Oktober 2015  
Tempat : Ruang Sidang Fakultas Teknik, Universitas Jember

Tim Penguji:

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota

Satryo Budi Utomo, S.T., M.T.  
NIP. 19850126 200801 1 002

Sumardi, S.T., M.T.  
NIP. 19670113 199802 1 001

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Bambang Supeno, S.T., M.T.  
NIP. 19690630 199512 1 001

M. Agung Prawira Negara, S.T., M.T.  
NIP. 19871217 201212 1 003

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik

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

**Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban Pada *Prototype Greenhouse* Tanaman Kedelai dengan Pemanfaatan *Peltier* Menggunakan Metode *Fuzzy Logic***

**Mohammad Abdul Khamid**

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember*

**ABSTRAK**

Kedelai adalah sumber protein nabati utama bagi masyarakat yang digunakan dalam berbagai macam produk makanan dan merupakan salah satu komoditas pangan utama setelah padi dan jagung. Dalam pertumbuhannya, tanaman kedelai juga dipengaruhi oleh gangguan dari luar seperti hama. Untuk mengatasi gangguan tersebut dibuat *greenhouse* untuk tanaman kedelai beserta cara manipulasi keadaan suhu dan kelembaban di dalamnya. Suhu dapat dimanipulasi dengan komponen *thermoelectric cooler* atau yang biasa disebut *peltier* untuk menurunkan suhu, dan *blower heater* untuk menaikkan suhu. Sedangkan untuk memonitoring suhu yang ada di dalam *greenhouse* digunakan sensor SHT 11 dan LCD 16x2. Penggunaan motor servo juga dilakukan untuk membuka dan menutup jendela ketika suhu di dalam *greenhouse* terlalu ekstrim. Serta menggunakan Arduino Uno sebagai *controllernya*. Rata-rata *error persen* yang terjadi pada pembacaan sensor SHT 11 yaitu 2.83% untuk suhu dan 5.32% untuk kelembaban. Berdasarkan data yang didapat, suhu terendah dan kelembaban tertinggi sebesar 23.94 °C dan 84.24 %. Sedangkan suhu tertinggi dan kelembaban terendah sebesar 35.48 °C dan 75.15 %. Pertumbuhan kedelai di dalam *greenhouse* lebih baik dibandingkan di luar *greenhouse*. Hal ini dapat dilihat dari pertumbuhan tinggi kedelai di dalam *greenhouse* 4.54 % lebih baik dan juga kondisi daun kedelai di dalam *greenhouse* yang tidak mengalami kerusakan seperti yang dialami kedelai di luar *greenhouse*.

**Kata kunci:** Arduino Uno, *greenhouse*, kedelai, sensor SHT 11, *thermoelectric cooler*.

***Design Of Temperature And Humidity Control System At Greenhouse  
Prototype Soybean Plants With Using Peltier Utilization Method Of Fuzzy Logic***

**Mohammad Abdul Khamid**

*Electrical Engineering, Engineering Faculty, Jember University*

**ABSTRACT**

*Soybean is the main source of vegetable protein for people who are used in a wide variety of food products and is one of the main food commodity after rice and corn are important in the food industry as well as agricultural development. In its growth, the soybean plants are also affected by interference from outside as pests. To solve the problem is made greenhouse for soybean plants and how to manipulate the temperature and humidity inside. The temperature can be manipulated with a thermoelectric cooler components or so-called peltier to lower the temperature, and blower heater to raise the temperature. As for monitoring the temperature in the greenhouse is used SHT 11 sensors and 16x2 LCD. The use of servo motors are also used to open and close the windows when the temperature in the greenhouse is too extreme. And using Arduino Uno as the controller. The average of percent error that occurred in the readings SHT 11 sensor is 2.83% for temperature and 5.32% for humidity. Based on the data obtained, the temperature lows and humidity highest is 23.94 °C and 84.24 %. While the temperature highest and humidity lows is 35.48 °C and 75.15 %. Soybean growth in the greenhouse better than outside the greenhouse. It can be seen from the high growth in the greenhouse soybean 4.54% better and also the condition of soybean leaves in the greenhouse are not damaged as experienced soybeans outside the greenhouse.*

**Keywords:** *Arduino Uno, greenhouse, SHT 11 sensors , soybean, thermoelectric cooler.*

## RINGKASAN

**Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban Pada *Prototype Greenhouse* Tanaman Kedelai dengan Pemanfaatan *Peltier* Menggunakan Metode *Fuzzy Logic***; Mohammad Abdul Khamid; 111910201045; 2015; 93 Halaman; Program Studi Strata 1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Kedelai adalah sumber protein nabati utama bagi masyarakat yang digunakan dalam berbagai macam produk makanan dan merupakan salah satu komoditas pangan utama setelah padi dan jagung yang penting dalam industri pangan serta pembangunan pertanian. Persyaratan tumbuh tanaman kedelai yang optimal adalah suhu 20-30°C, sedangkan suhu dapat dikatakan sesuai untuk tanaman kedelai yaitu suhu 18-35°C (Marwoto dkk, 2012). Serta kelembaban udara yang optimal untuk pertumbuhan tanaman kedelai berkisar 75-90% (Adisarwanto, 2008). Untuk mendapatkan hasil kedelai yang berkualitas dan bebas dari hama penyakit, maka dibuat *greenhouse* yang dikhususkan untuk tanaman kedelai.

*Greenhouse* atau rumah kaca merupakan suatu bangunan yang dapat digunakan untuk melakukan budidaya tanaman di dalam ruangan. Dengan rumah kaca ini bisa dilakukan suatu pengkondisian ruangan yang sesuai dengan keadaan sebenarnya. Pengkondisian ruangan yang dimaksud yaitu dengan mengontrol suhu dan kelembaban di dalam ruangan *greenhouse* dengan tujuan agar tanaman terhindar dari berbagai macam hama penyakit yang dapat menyerang tanaman kedelai seperti *aphis glycine* (kutu dewasa ukuran kecil 1-1.5 mm), *melano agromyza phaseoli* (lalat bertelur pada leher akar), *phaedonia inclusa* (kumbang daun tembukur), dan sebagainya.

*Greenhose* ini berukuran 80cm x 60 cm x 70 cm terbuat dari kayu sebagai kerangkanya, kaca sebagai penutup atas (atap), plastik bening sebagai dinding *greenhouse*, dan papan triplek sebagai alas *greenhouse*. Komponen yang digunakan pada alat ini yaitu Arduino uno sebagai *controller*, sensor SHT 11 sebagai sensor

pendeteksi kondisi suhu dan kelembaban ruangan, *blower heater* sebagai aktuator untuk pemanas ruangan, pendingin (*peltier*, *fan 12 vdc*, *fan 220 vac*) sebagai aktuator untuk pendingin ruangan, motor servo untuk membuka dan menutup jendela, PSU CPU untuk sumber 12 vdc, dan pompa air akuarium beserta selang plastik untuk menyiram tanaman dengan air.

Penelitian dilaksanakan dua tahap, pertama yaitu tahap pengujian alat. Disini semua komponen diuji cara kerjanya, apakah sudah sesuai dengan fungsi dan cara kerjanya masing-masing. Setelah alat dipastikan sudah berjalan dengan lancar dan sesuai fungsinya tahap selanjutnya mulai proses pengambilan data. Proses kedua ini dilakukan selama 21 hari terhitung dari tanggal 24 Juli – 14 Agustus 2015. Selama proses pengambilan data berlangsung, alat selalu dijalankan.

Data yang diperoleh yaitu suhu *greenhouse* di pagi, siang, dan malam berturut-turut pada 0, 3, 4, 7, 10, 14, 17, 21 hari setelah tanam (HST). Selain suhu dan kelembaban, proses pertumbuhan tanaman juga dicatat seperti tinggi tanaman dan jumlah daun.

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, diperoleh suhu rata-rata di dalam *greenhouse* pada pagi hari 26.64 °C, pada siang hari 33.097 °C, dan pada malam hari 27.776 °C. Sedangkan suhu rata-rata di luar *greenhouse* pada pagi hari 24.843 °C, siang hari 35.171 °C, dan malam hari 28 °C. Selain itu, dapat dilihat juga pada siang hari aktuator yang berjalan yaitu pendingin, dan pada malam hari keadaan normal didapatkan. *Blower heater* tidak pernah bekerja, hal ini disebabkan data diambil di daerah panas, dimana suhu luar ruangan akan mempengaruhi suhu di dalam *greenhouse*. Dan ketika suhu luar sudah mulai normal yang diikuti suhu di dalam, maka penurunan suhu tidak melewati batas suhu terendah yang dikehendaki *greenhouse*. Diketahui juga pertumbuhan kedelai di dalam *greenhouse* lebih baik dibandingkan kedelai di luar *greenhouse*. Hal ini dapat dilihat dari pertumbuhan tinggi kedelai di dalam *greenhouse* 4.54 % lebih baik dari pada kedelai di luar *greenhouse* dan juga kondisi daun kedelai di dalam *greenhouse* yang tidak mengalami kerusakan seperti yang dialami kedelai di luar *greenhouse*.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul "**Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban Pada *Prototype Greenhouse* Tanaman Kedelai dengan Pemanfaatan *Peltier* Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*".** Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

1. Bapak Satrio Budi Utomo, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Sumardi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
3. Ibunda Siti Syafa'ah, Ayahanda Suryono, Adik Ummi Latifah, terima kasih atas dukungan secara moril dan materil, kasih sayang serta do'a restunya;
4. Teman-Teman ELEKTRO 11 yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, terima kasih atas dukungan dan bantuannya selama proses penyusunan Skripsi ini;
5. Pihak-pihak lain yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, terima kasih atas dukungan dan motivasi kalian dalam penyusunan Skripsi ini.

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

Jember, Oktober 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ix</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>xi</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xix</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	
<b>1.1. Latar Belakang</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Rumusan Masalah</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3. Tujuan Penelitian</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4. Manfaat Penelitian</b> .....	<b>3</b>
<b>1.5. Batasan Masalah Penelitian</b> .....	<b>3</b>
<b>1.6. Sistematika Penulisan</b> .....	<b>3</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
<b>2.1. Greenhouse</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2. Tanaman Kedelai</b> .....	<b>5</b>
2.2.1. Syarat Tumbuh Tanaman Kedelai .....	<b>5</b>
2.2.2. Bentuk Tanaman Kedelai .....	<b>9</b>
2.2.3. Fase Pertumbuhan Tanaman Kedelai .....	<b>10</b>
<b>2.3. Arduino UNO</b> .....	<b>16</b>
2.3.1. Sumber Daya .....	<b>17</b>

2.3.2. Memori .....	17
2.3.3. <i>Input dan Output</i> .....	18
2.3.4. Komunikasi.....	19
2.3.5. Perlindungan Arus USB .....	19
2.3.6. Karakteristik Fisik .....	19
<b>2.4. Sensor SHT 11</b> .....	20
<b>2.5. LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)</b> .....	21
<b>2.6. IC ULN 2803A</b> .....	23
<b>2.7. Aktuator</b> .....	24
2.7.1. <i>Blower Heater</i> .....	26
2.7.2. Pendingin <i>Peltier</i> .....	26
2.7.3. Motor <i>Servo</i> .....	28
<b>2.8. Algoritma Perancangan Pengendali Fuzzy</b> .....	30
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
<b>3.1. Tempat dan Waktu Penelitian</b> .....	36
<b>3.2. Tahapan Penelitian</b> .....	36
<b>3.3. Rancangan Alat</b> .....	37
3.3.1. Mekanik.....	37
3.3.2. Elektronika .....	39
3.3.3. <i>Software</i> .....	45
<b>3.4. Rancangan Keseluruhan Alat</b> .....	57
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
<b>4.1. Pengujian Sensor SHT 11</b> .....	58
4.1.1. Pengujian Suhu Sensor SHT 11 .....	58
4.1.2. Pengujian Kelembaban Sensor SHT 11 .....	60
<b>4.2. Pengujian Alat Secara Keseluruhan</b> .....	62
<b>BAB 5. PENUTUP</b>	
<b>5.1. Kesimpulan</b> .....	71
<b>5.2. Saran</b> .....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	73
<b>LAMPIRAN</b> .....	75

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 2.1. Spesifikasi Arduino UNO.....	16
Tabel 2.2. Fungsi <i>pin</i> LCD .....	22
Tabel 3.1. Kondisi <i>relay</i> untuk beban.....	41
Tabel 3.2. Kumpulan <i>rule</i> .....	56
Tabel 4.1. Spesifikasi <i>thermohygrometer</i> .....	58
Tabel 4.2. Pengujian suhu sensor SHT 11 dengan <i>thermometer</i> .....	59
Tabel 4.3. Pengujian kelembaban sensor SHT 11 dengan <i>hygrometer</i> .....	61
Tabel 4.4. Data suhu dan kelembaban di dalam <i>greenhouse</i> .....	64
Tabel 4.5. Data suhu dan kelembaban di luar <i>greenhouse</i> .....	64
Tabel 4.6. Data pertumbuhan kedelai di dalam dan di luar <i>greenhouse</i> ....	67

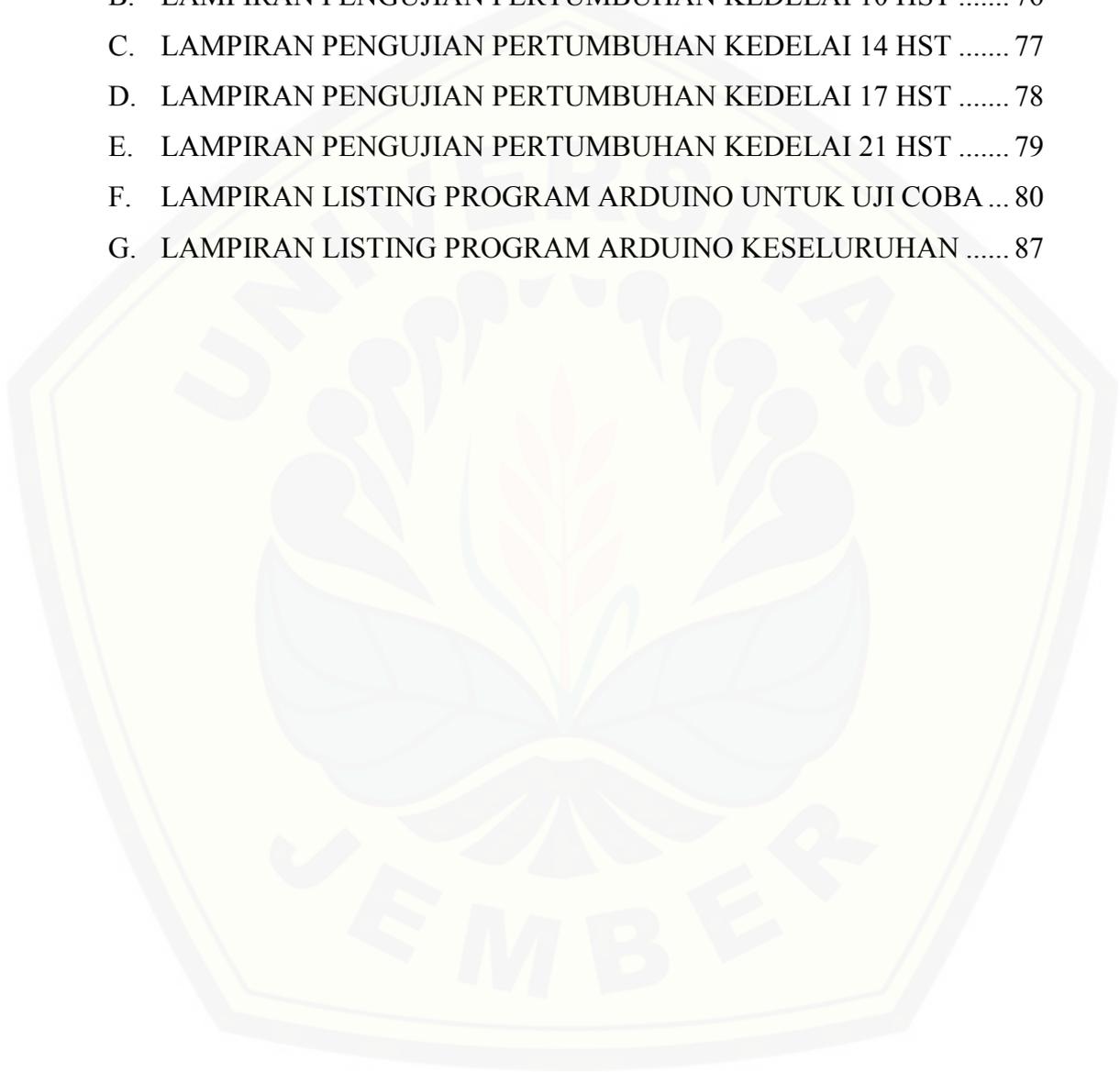
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Akar perkecambahan kedelai .....	9
Gambar 2.2. Tanaman kedelai .....	10
Gambar 2.3. Fase pertumbuhan tanaman kedelai .....	16
Gambar 2.4. <i>Board</i> Arduino UNO .....	20
Gambar 2.5. Blok diagram pada chip SHT 11 .....	21
Gambar 2.6. LCD 16x2 .....	21
Gambar 2.7. Koneksi LCD dengan <i>board</i> arduino .....	23
Gambar 2.8. IC ULN2803A .....	24
Gambar 2.9. Susunan <i>peltier</i> .....	27
Gambar 2.10. Bunga es yang dihasilkan <i>peltier</i> .....	27
Gambar 2.11. Komponen penyusun motor <i>servo</i> .....	29
Gambar 2.12. PWM dan posisi sudut putaran .....	30
Gambar 2.13. Contoh motor <i>servo</i> .....	30
Gambar 2.14. Model fuzzy sugeno orde 1 .....	33
Gambar 3.1. Kerangka <i>greenhouse</i> .....	38
Gambar 3.2. Jendela <i>greenhouse</i> .....	38
Gambar 3.3. Selang penyiraman air .....	39
Gambar 3.4. LCD dengan komponen pendukung .....	40
Gambar 3.5. Skematik <i>relay</i> .....	40
Gambar 3.6. Kaki-kaki <i>relay</i> .....	41
Gambar 3.7. Skematik transistor darlington .....	42
Gambar 3.8. Penguat dengan 1 transistor .....	42
Gambar 3.9. Rangkaian pengganti .....	43
Gambar 3.10. Koneksi Arduino dengan komponen lain .....	45
Gambar 3.11. Diagram blok sistem .....	45
Gambar 3.12. Diagram alir program utama .....	46
Gambar 3.13. Diagram alir program kelembaban kurang .....	47
Gambar 3.14. Diagram alir program kelembaban normal .....	48

Gambar 3.15.	Diagram alir program kelembaban lebih.....	49
Gambar 3.16.	Fungsi keanggotaan pada suhu.....	51
Gambar 3.17.	Fungsi keanggotaan pada kelembaban.....	54
Gambar 3.18.	Rancangan keseluruhan alat.....	57
Gambar 4.1.	Grafik pengujian suhu SHT 11 dengan <i>thermometer</i> .....	59
Gambar 4.2.	Grafik pengujian kelembaban SHT 11 dengan <i>hygrometer</i> .....	61
Gambar 4.3.	Pengujian motor servo.....	62
Gambar 4.4.	Pengujian alat secara keseluruhan.....	63
Gambar 4.5.	Grafik kondisi suhu di dalam <i>greenhouse</i> .....	65
Gambar 4.6.	Grafik kondisi suhu di luar <i>greenhouse</i> .....	65
Gambar 4.7.	Grafik kondisi kelembaban di dalam <i>greenhouse</i> .....	66
Gambar 4.8.	Grafik kondisi kelembaban di luar <i>greenhouse</i> .....	66
Gambar 4.9.	Grafik pertumbuhan tinggi tanaman kedelai.....	68
Gambar 4.10.	Grafik pertumbuhan jumlah daun tanaman kedelai .....	69
Gambar 4.11.	Daun kedelai di dalam <i>greenhouse</i> .....	70
Gambar 4.12.	Daun kedelai di luar <i>greenhouse</i> .....	70

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
A. LAMPIRAN PENGUJIAN PERTUMBUHAN KEDELAI 7 HST .....	75
B. LAMPIRAN PENGUJIAN PERTUMBUHAN KEDELAI 10 HST .....	76
C. LAMPIRAN PENGUJIAN PERTUMBUHAN KEDELAI 14 HST .....	77
D. LAMPIRAN PENGUJIAN PERTUMBUHAN KEDELAI 17 HST .....	78
E. LAMPIRAN PENGUJIAN PERTUMBUHAN KEDELAI 21 HST .....	79
F. LAMPIRAN LISTING PROGRAM ARDUINO UNTUK UJI COBA ...	80
G. LAMPIRAN LISTING PROGRAM ARDUINO KESELURUHAN .....	87



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tanaman dan tumbuhan merupakan salah satu makhluk hidup yang sangat dibutuhkan manusia. Tumbuhan mempunyai jenis beraneka ragam. Seperti suhu dan kelembaban yang dibutuhkan tumbuhan juga beraneka ragam. Ada tumbuhan yang biasa hidup di dataran tinggi yang bersuhu rendah. Ada juga yang biasa hidup di dataran rendah yang bersuhu tinggi. Dari keberagaman suhu yang dibutuhkan tumbuhan, maka timbulah suatu masalah dimana ketika seseorang yang berada di dataran rendah dengan suhu yang tinggi berkeinginan menanam tumbuhan yang biasa hidup di dataran tinggi dengan suhu yang rendah, seperti tanaman kedelai.

Tanaman kedelai (*Glycine max(L.) Merr*) merupakan tanaman semusim yang telah lama dikenal dan dibudidayakan. Kedelai adalah sumber protein nabati utama bagi masyarakat yang digunakan dalam berbagai macam produk makanan dan merupakan salah satu komoditas pangan utama setelah padi dan jagung yang penting dalam industri pangan serta pembangunan pertanian (Badan Tenaga Nuklir Nasional, 2009). Persyaratan tumbuh tanaman kedelai yang optimal adalah suhu 20-30°C, sedangkan suhu dapat dikatakan sesuai untuk tanaman kedelai yaitu suhu 18-35°C (Marwoto dkk, 2012). Kelembaban udara berpengaruh langsung terhadap proses pemasakan biji kedelai karena semakin tinggi kelembaban proses pemasakan polong akan semakin cepat sehingga proses pembentukan biji menjadi kurang optimal. Di sisi lain, kelembaban udara yang tinggi selama beberapa waktu akan mendorong berkembangnya hama penyakit sehingga serangan akan semakin meningkat. Kelembaban udara yang optimal untuk pertumbuhan tanaman kedelai berkisar 75-90% (Adisarwanto, 2008). Untuk memanipulasi suhu dan kelembaban sesuai kebutuhan tanaman, maka sekarang ini sudah mulai banyak dibuat *greenhouse*.

*Greenhouse* atau rumah kaca merupakan suatu tempat atau ruangan yang biasanya dikelilingi oleh bahan mika plastik yang bertujuan untuk merekayasa suhu dan kelembaban di dalamnya serta untuk mencegah adanya hama tanaman. Penelitian mengenai rumah kaca sudah banyak dijumpai. Mulai dari pengontrolannya, aktuatornya, serta desainnya.

Pada penelitian kali ini akan fokus pada aktuator dan yang utama yaitu objeknya yang berupa kedelai. Penelitian ini akan menggunakan aktuator untuk pengendali suhu berupa alat pendingin *peltier*. Kedua sisi pada *peltier* dapat menghasilkan panas dan dingin. Satu sisi menghasilkan panas dan sisi satunya menghasilkan dingin. Pada penelitian sebelumnya, sudah ada yang pernah menggunakan komponen *peltier* sebagai pendinginnya, tapi dengan menggunakan media air sebagai penukar kalornya serta tidak langsung diberi tanaman di dalam *greenhouse*. Sedangkan pada penelitian ini akan menggunakan *heatsink* dan kipas untuk langsung menghembuskan panas dan dingin yang dihasilkan *peltier*. Sedangkan untuk mengontrol kelembaban akan digunakan motor servo untuk membuka dan menutup jendela serta pompa air untuk menyiram tanaman. Pada penelitian ini juga digunakan tanaman yang di letakkan di dalam *greenhouse*. Sementara sensor yang akan digunakan yaitu sensor SHT 11 yang dapat membaca suhu dan kelembaban.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pada tugas akhir ini masalah yang akan diselesaikan adalah :

1. Bagaimana membaca kondisi udara (suhu dan kelembaban) pada rumah kaca?
2. Bagaimana mengatasi kondisi suhu dan kelembaban yang terlalu tinggi?
3. Bagaimana mengatasi kondisi suhu dan kelembaban yang terlalu rendah?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Dapat membaca kondisi udara (suhu dan kelembaban) pada rumah kaca.
2. Dapat mengatasi kondisi suhu dan kelembaban yang terlalu tinggi.

3. Dapat mengatasi kondisi suhu dan kelembaban yang terlalu rendah.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Dapat mempermudah memonitoring kondisi suhu dan kelembaban pada rumah kaca.
2. Dapat memperoleh suhu yang lebih rendah dengan pemanfaatan *peltier*..
3. Dapat menanam tanaman kedelai di dataran tinggi ataupun rendah dengan pertumbuhan baik.

#### 1.5 Batasan Masalah Penelitian

Pada penulisan tugas akhir ini penulis memberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan hanya pada pengontrolan suhu dan kelembaban pada ruang yang sudah ditentukan volumenya.
2. Penyiraman air dilakukan secara manual
3. Komponen dan alat pendukung tidak dijelaskan secara terperinci.
4. Power *supply* sudah ditentukan tegangan, arus, dan dayanya serta tidak dijelaskan secara terperinci.
5. Pengamatan tanaman kedelai dilakukan selama 21 hari ketika tanaman menginjak *fase vegetatif* lebih tepatnya pada stadium buku ketiga (V3).

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

##### **BAB I           Pendahuluan**

Memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah penelitian, dan sistematika penulisan.

##### **BAB II          Tinjauan Pustaka**

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan pembuatan alat.

##### **BAB III        Metodologi Penelitian**

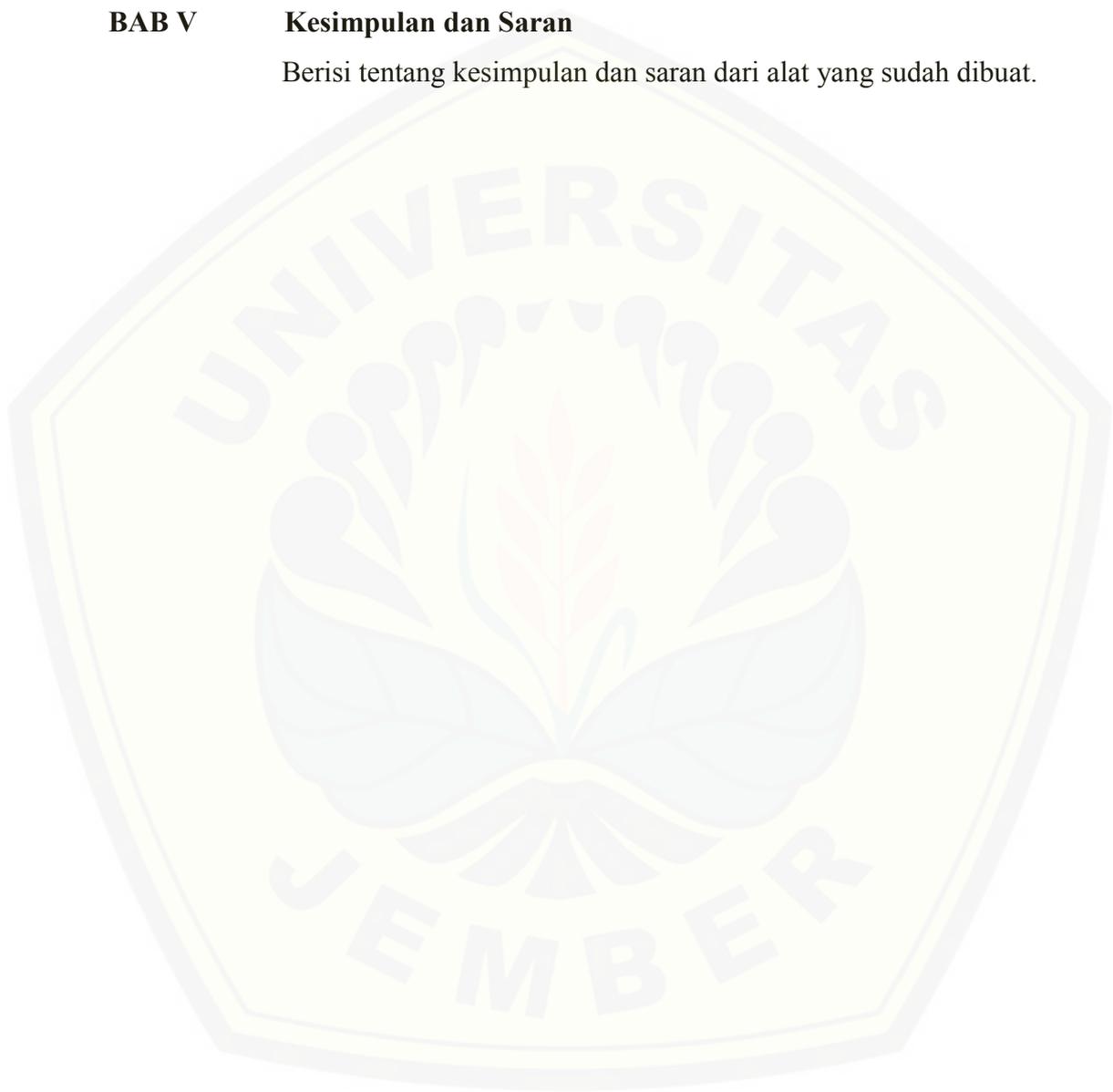
Berisi tentang metode penelitian dan perancangan alat.

**BAB IV Hasil dan Pembahasan**

Berisi tentang proses pengujian alat, pengambilan data, dan analisa data yang kemudian dimasukkan dalam pembahasan.

**BAB V Kesimpulan dan Saran**

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari alat yang sudah dibuat.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Greenhouse*

*Greenhouse* atau rumah kaca merupakan *plant* dari proyek akhir ini, merupakan suatu bangunan yang dapat digunakan untuk melakukan budidaya tanaman di dalam ruangan. Bangunan ini mempunyai atap yang terbuat dari kaca atau bisa diganti dengan plastik yang bening, yang mana dapat berfungsi untuk menahan energi panas matahari yang dipancarkan sehingga energi panas tetap berada di dalam bangunan rumah kaca tersebut. Dengan rumah kaca ini bisa dilakukan suatu pengkondisian ruangan yang sesuai dengan keadaan sebenarnya. Untuk pembuatan *prototype* rumah kaca dibutuhkan spesifikasi dan ukuran sebagai berikut :

- a) Bahan
  - Kayu untuk kerangka
  - Kaca dan plastik untuk penutup
- b) Ukuran
  - Panjang : 80 cm
  - Lebar : 60 cm
  - Tinggi : 70 cm

### 2.2. Tanaman Kedelai

#### 2.2.1 Syarat Tumbuh Tanaman Kedelai

##### A. Iklim

Kedelai dapat tumbuh baik di tempat yang berhawa panas, di tempat-tempat terbuka dan bercurah hujan 100 – 400 mm<sup>3</sup> per bulan. Oleh karena itu, kedelai kebanyakan ditanam didaerah yang terletak kurang dari 400 m diatas permukaan

laut dan jarang sekali ditanam di daerah yang terletak kurang dari 600 m diatas permukaan laut. Jadi tanaman kedelai akan tumbuh baik jika ditanam didaerah beriklim kering (Aak, 2002).

Persyaratan tumbuh tanaman kedelai yang optimal adalah suhu 20-30°C, sedangkan suhu dapat dikatakan sesuai untuk tanaman kedelai yaitu suhu 18-35°C (Marwoto dkk, 2012). Kelembaban udara berpengaruh langsung terhadap proses pemasakan biji kedelai karena semakin tinggi kelembaban proses pemasakan polong akan semakin cepat sehingga proses pembentukan biji menjadi kurang optimal. Di sisi lain, kelembaban udara yang tinggi selama beberapa waktu akan mendorong berkembangnya hama penyakit sehingga serangan akan semakin meningkat. Kelembaban udara yang optimal untuk pertumbuhan tanaman kedelai berkisar 75-90% (Adisarwanto, 2008).

Rata-rata curah hujan tiap tahun yang cocok bagi kedelai adalah kurang dari 200 mm dengan jumlah bulan kering 3-6 bulan dan hari hujan berkisar antara 95-122 hari selama setahun. Volume air yang terlalu banyak tidak menguntungkan, karena akan mengakibatkan akar membusuk. Banyaknya curah hujan juga sangat mempengaruhi aktivitas bakteri tanah dalam menyediakan nitrogen. Namun ketergantungan ini dapat diatasi, asalkan selama 30 – 40 hari suhu di dalam dan permukaan tanah pada musim panas sekitar 35°C – 39°C. Hasil observasi ini menunjukkan bahwa pengaruh curah hujan, temperatur dan kelembaban udara terhadap pertumbuhan tanaman kedelai disepanjang musim adalah sekitar 60 -70 % (Aak, 2002).

Varietas kedelai berbiji kecil, sangat cocok ditanam di lahan dengan ketinggian 0,5 - 300 m dpl. Sedangkan varietas kedelai berbiji besar cocok ditanam di lahan dengan ketinggian 300-500 m dpl. Kedelai biasanya akan tumbuh baik pada ketinggian tidak lebih dari 500 hingga 600 m dpl. Tanaman kedelai sebagian besar tumbuh di daerah yang beriklim tropis dan subtropis. Iklim kering lebih disukai tanaman kedelai dibandingkan iklim lembab. Tanaman kedelai dapat tumbuh baik di daerah yang memiliki curah hujan sekitar 100-400 mm/bulan. Sedangkan untuk mendapatkan hasil optimal, tanaman kedelai membutuhkan curah hujan antara 100-200 mm/bulan (Prihatman, 2000).

Energi radiasi atau takaran sinar matahari, merupakan faktor penting pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kualitas, intensitas dan lamanya penyinaran merupakan segi energi radiasi yang penting. Spektrum penuh sinar matahari umumnya sangat menguntungkan pertumbuhan tanaman. Tanaman lebih mampu tumbuh baik pada intensitas cahaya agak redup dibandingkan jika hari terang penuh. Ukuran daun dan pemanjangan batang sejumlah tanaman akan maksimal pada intensitas cahaya rendah sedangkan berat kering total tanaman akan meningkat mengikuti peningkatan intensitas cahaya. Segi energi radiasi yang lebih penting adalah lamanya penyinaran (Poerwowidodo, 1993).

## B. Tanah

Tanaman ini pada umumnya dapat beradaptasi terhadap berbagai jenis tanah dan menyukai tanah yang bertekstur ringan hingga sedang, dan berdrainase baik. Tanaman ini peka terhadap kondisi salin (Rubatzky dan Yamaguchi, 1998).

Kedelai membutuhkan tanah yang kaya akan humus atau bahan organik. Bahan organik yang cukup dalam tanah akan memperbaiki daya olah dan juga merupakan sumber makanan bagi jasad renik, yang akhirnya akan membebaskan unsur hara untuk pertumbuhan tanaman. Pada dasarnya kedelai menghendaki kondisi tanah yang tidak terlalu basah, tetapi air tetap tersedia. Kedelai tidak menuntut struktur tanah yang khusus sebagai suatu persyaratan tumbuh. Bahkan pada kondisi lahan yang kurang subur dan agak asam pun kedelai dapat tumbuh dengan baik, asal tidak tergenang air yang akan menyebabkan busuknya akar. Kedelai dapat tumbuh baik pada berbagai jenis tanah, asal drainase dan aerasi tanah cukup baik.

Toleransi keasaman tanah sebagai syarat tumbuh bagi kedelai adalah pH 5,8-7,0 tetapi pada pH 4,5 pun kedelai dapat tumbuh. Pada pH kurang dari 5,5 pertumbuhannya sangat terlambat karena keracunan Aluminium. Sehingga pertumbuhan bakteri bintil dan proses *nitrifikasi* (proses *oksidasi amoniak* menjadi *nitrit* atau proses pembusukan) akan berjalan kurang baik (Prihatman, 2000).

*Aerasi* tanah yang kurang biasanya disebabkan oleh drainase air yang kurang baik sehingga tanah menempati pori-pori besar yang jika tidak demikian

akan memungkinkan pertukaran gas ke udara. Pengaruh kejenuhan air kadang diperberat oleh perombakan bahan organik seperti sisa-sisa tanaman. Dalam situasi-situasi selain daripada kejenuhan total, pertumbuhan akar kapas dan kedelai tampaknya sama sekali tidak peka terhadap kandungan O<sub>2</sub> serendah kira-kira 5 %. Walaupun demikian, periode-periode tanpa oksigen selama hanya 3 jam untuk kapas, dan 5 jam untuk kedelai, mematikan ujung-ujung akar (Goldsworthy dan Fisher, 1992).

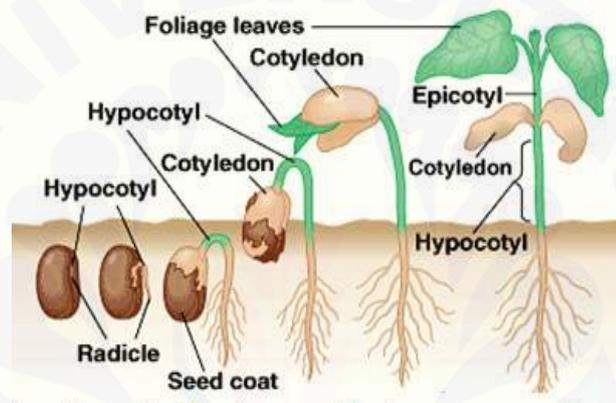
*Aerasi* tanah (kandungan O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> di dalam tanah) sangat mempengaruhi sistem perakaran suatu tanaman. Oksigen merupakan unsur yang penting untuk proses-proses metabolisme. Kebutuhan oksigen untuk setiap jenis tanaman berbeda-beda. Pada kedelai kebutuhan O<sub>2</sub> dan pengambilan nitrogen lebih besar pada *fase vegetatif* dibandingkan dengan *fase generatif*. Apabila tanaman ditanam pada tempat yang dijenuhi oleh air (tergenang) maka dalam jangka waktu yang relatif singkat akan menunjukkan penguningan daun, pertumbuhan terhambat, dan menyebabkan matinya tanaman. Hal ini disebabkan karena pada kondisi yang jenuh air, maka kandungan O<sub>2</sub> sedikit dan CO<sub>2</sub> meningkat. Sehingga akan menghambat pertumbuhan akar yang selanjutnya berpengaruh pada proses pengisapan air dan unsur hara (Islami dan Utomo, 1995)

Terdapat empat musim tanam utama kedelai di Indonesia:

- 1) Awal musim hujan. Di lahan kering, waktu tanam bulan Oktober atau November, tergantung mulainya musim hujan. Tanaman dipanen dalam bulan Januari.
- 2) Akhir musim hujan. Kedelai ditanam dalam bulan Januari atau Februari, setelah panen kedelai di lahan kering. Tanaman dipanen dalam bulan Mei.
- 3) Awal musim kemarau. Ini dilakukan di lahan sawah pada awal bulan April setelah panen padi sawah. Tanaman dipanen pada akhir bulan Juni.
- 4) Akhir musim kemarau. Dilakukan dilahan sawah pada awal bulan Juli dengan pola tanam padi-kedelai-kedelai atau padi-padi-kedelai. Karena kemungkinan tidak adanya hujan sepanjang pertumbuhan tanaman (Juli-Oktober), diperlukan irigasi untuk kedelai akhir musim kemarau.

### 2.2.2 Bentuk Tanaman Kedelai

Akar tanaman kedelai terdiri dari akar tunggang, akar lateral, dan akar serabut. Pada tanah yang gembur, akar ini dapat menembus tanah sampai kedalaman lebih kurang 1,5 m. Menurut Fachruddin (2000), akar tanaman kedelai mampu membentuk bintil-bintil akar yang merupakan *koloni* dari bakteri *Rhizobium Japonicum*. Bakteri tersebut bersimbiosis dengan akar tanaman kedelai untuk mengikat nitrogen dari udara. Nitrogen ini sangat dibutuhkan bagi pertumbuhan tanaman kedelai.



**Gambar 2.1** Akar perkecambahan kedelai

(sumber: <http://biologimediacentre.com/pertumbuhan-dan-perkembangan-1-pertumbuhan-dan-perkembangan-pada-tumbuhan/>)

Kedelai memiliki susunan daun majemuk yang terdiri dari 3 helai anak daun dan umumnya berwarna hijau kekuning-kuningan. Bentuk daun ada yang oval, dan ada juga yang segitiga. Warna dan bentuk daun sangat tergantung pada *varietas*. Ujung daun kedelai ada yang runcing, ada yang tumpul. Permukaan daun berbulu, ada yang berbulu jarang dan kasap, berbulu jarang tidak kasap, berbulu tipis dan berbulu tebal. Semua ini tergantung *varietas*.

Batang tanaman kedelai dapat dibedakan menjadi 2 bagian. Bagian batang di bawah keping biji yang belum lepas disebut *hypocotyl* sedangkan bagian di atas keping biji disebut *epycotyl*. Batang kedelai tersebut berwarna ungu atau hijau. Batang kedelai memiliki buku yang akan menjadi tempat tumbuhnya bunga. Buku yang menghasilkan buah disebut buku subur, pada batang tanaman tersebut biasanya akan muncul cabang.

Tanaman kedelai memiliki bunga sempurna, yaitu dalam satu bunga terdapat alat kelamin jantan (benang sari) dan alat kelamin betina (putik). Bunga berwarna ungu atau putih sekitar 60% bunga rontok sebelum membentuk polong. Di Indonesia tanaman kedelai mulai berbunga pada umur 30-50 hari setelah tanam (Fachruddin, 2000). Semakin pendek penyinaran dan semakin tinggi suhu udaranya akan semakin cepat berbunga. Bunga kedelai berbentuk kupu-kupu dan muncul di ketiak daun, bunga kedelai ini umumnya menyerbuk sendiri. Penyerbukan terjadi sebelum bunga mekar setelah penyerbukan terjadi bunga akan berkembang menjadi buah.

Banyaknya polong tergantung varietasnya. Ada *varietas* kedelai yang menghasilkan banyak biji dan ada pula yang sedikit. Berat masing-masing biji berbeda-beda ada yang mencapai 50-500 gr per 1000 butir biji. Polong berwarna hijau saat muda dan akan berubah menjadi kuning kecokelatan saat masak. Sementara itu, warna kulit bijinya bervariasi misalnya kuning, hitam, atau coklat. Bijinya ada yang berbentuk bulat, agak gepeng, atau bulat telur tergantung pada varietas tanaman. Namun demikian sebagian besar biji berbentuk bulat telur.



**Gambar 2.2** Tanaman kedelai  
(sumber: <http://kluet-raya.blogspot.com/>)

### 2.2.3 Fase Pertumbuhan Tanaman Kedelai

Mengenal stadium pertumbuhan kedelai merupakan suatu keharusan bagi petani yang bergerak dibidang usaha tani kedelai, tanpa mengetahui stadium pertumbuhan tersebut, akan sulit dalam memperlakukan teknologi terhadap tanaman seperti : pemupukan, penyiangan, pemberantasan hama dan sebagainya.

Hal ini disebabkan karena stadium pertumbuhan itu merupakan tahap perkembangan *fisiologis* tanaman, pada setiap tahapnya mempunyai sifat dan tuntutan kebutuhan yang berbeda. Secara garis besarnya stadium pertumbuhan kedelai terdiri dari stadium *vegetatif dan reproduktif (generatif)* yang masing-masingnya terdiri atas beberapa stadium.

#### A. Fase *Vegetatif*

Periode *Vegetatif* dihitung sejak tanaman muncul dari dalam tanah sampai awal pembungaan dengan stadium sebagai berikut :

##### 1) Stadium Pemunculan ( VE = *Vegetatif/Epigeous* )

Stadium ini ditandai dengan munculnya *Cotyledon* ( *keping biji* ) dari dalam tanah yang disebut dengan *Vegetatif Epigeous* ( VE ). *Epigeous* adalah satu sifat perkecambahan dari biji yang *keping* bijinya terangkat ke permukaan tanah setelah satu atau dua hari biji kedelai ditanam. Pada keadaan kelembaban tanah cukup baik, bakal akar akan tumbuh keluar melalui belahan kulit biji di sekitar *mikropil*. Bakal akar ini tumbuh cepat ke dalam tanah, *Cotyledon* terangkat ke atas permukaan tanah karena pertumbuhan *hipokotil* sangat cepat. Lekukan yang terbentuk pada bagian atas *hipokotil* mencapai permukaan tanah lebih dahulu dan menarik *Cotyledon* ke atas keluar dari dalam tanah dengan menanggalkan kulit biji.

##### 2) Stadium *Cotyledon* ( VC )

Setelah dua sampai tiga hari *Cotyledon* muncul di permukaan tanah, kedua lembar daun primer terbuka, tepi daun tidak menyentuh. Pertumbuhan berikutnya adalah pembentukan daun berangkai tiga. Bersamaan dengan ini mulai terbentuk akar – akar sekunder yang tumbuh dari akar tunggang ( Arsyad, 1995 ). Pada fase ini hama utama yang perlu diamati adalah lalat kacang (*Ophiomyia phaseoli*) dan kumbang daun kacang (*Angitarsus suturellinus*) dan ulat tanah (*Agrotis spp*).

Kemudian penyakit yang sering menyerang adalah penyakit layu oleh *Sclerotium solfsii* yang tumbuh pada pangkal batang berupa benang – benang *Miselim* berwarna putih atau butiran coklat. Bercak cekung hitam pada *Cotyledon*

oleh *Collectotrichum dematium* dan bercak coklat oleh *Rizoctonia solani*. Pestisida untuk mengatasi hama dan penyakit tersebut seperti terlampir.

### 3) Stadium Buku Pertama ( V1 )

Stadium ini setelah tanaman berumur satu minggu , daun terurai penuh pada buku daun tunggal (*Unifoliolat* ). Buku pertama dan tanaman sudah terlihat jelas. Akar – akar cabang dari akar sekunder sudah mulai tumbuh. Oleh sebab itu pada saat ini perlu persediaan hara yang cukup, terutama Nitrogen sebagai stater pertumbuhan. Hama utama dan penyakit yang sering berkembang sama dengan yang ada pada *Stadium Cotiledon* ( VE).

### 4) Stadium Buku Kedua ( V2 )

Stadium ini umumnya sesudah umur tanaman dua minggu, dan ditandai dengan terurai penuhnya daun ketiga pada buku diatas buku *Unifoliolat*, akar cabang sudah mulai berkembang dan berperan dalam menyerap air dan unsur hara. Oleh sebab itu ketersediaan hara secukupnya ditanah sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman.

Hama utama yang mungkin dijumpai di pertanaman adalah ulat Gerayak (*Spodoptera litura*), ulat Jengkal (*Chrysodeixis chalcites*), kumbang Kedelai (*Phoedonia inclusa*) dan ulat Buah (*Helicoverpa armigera* dan *Heliothis spp*). Serangga lain yang mungkin dijumpai adalah Penggerek pucuk (*Agromipa dolichostima* ), pelipat daun ( *Biloba/Stomopteryx subsecivella* ), penggulung daun (*Lamprosema indicata*, *Adoxophyes sp.* dan *Homana sp*), kumbang tanah kuning dan tungau merah (*Tetranychus cinnabarius* ).

Adapun penyakit yang mungkin menyerang antara lain : Karat daun (Bercak coklat) pada permukaan bawah daun yang disebabkan oleh cendawan *Phakopsora pachyrhizi* dan Layu karena *Sclerotium solfsii* ( *S. solfsii* ). Kemudian penyakit virus utama seperti SSV, SMV,dan CMMV, dan keberadaan serangga *vector virus* tersebut dapat meningkatkan perkembangan dan penyebaran penyakit, khusus apabila masih ada pertanaman yang lebih muda.

#### 5) Stadium Buku Ketiga ( V 3 )

Stadium ini biasanya sesudah tanaman berumur tiga minggu. Telah terbentuk tiga buku batang utama yang dihitung dari buku *unifoliolat* dengan daun terurai penuh. Perakaran sudah berfungsi penuh dan bintil akar sudah mulai berfungsi untuk mengikat nitrogen dari udara. Pada saat ini tanaman membutuhkan hara secukupnya dan pengemburan tanah serta bersih dari gulma. Sedangkan hama dan penyakit utama yang ada, sama dengan yang ada pada stadium sebelumnya.

#### 6) Stadium Buku Ke n ( V n )

Stadium ini adalah stadium berikutnya yang mana nilai n ini tergantung kepada umur berbunganya setiap *varietas*. Untuk menentukan nilai n berpedoman kepada jumlah buku pada batang utama, setelah *unifoliolat* ( buku pertama ) dengan daun sudah terurai penuh. Dalam stadium ini sangat diutamakan perhatian dalam hal pemeliharaan, baik dari gulma maupun dari serangan hama dan penyakit seperti pada stadium buku ke tiga.

### B. Stadium Reproduksi

Stadium ini dimulai sejak masuk waktu pembungaan sampai saat polong matang. Setiap uraian stadium diberi tanda R ( Reproduksi ) dan diikuti dengan angka 1 sampai 8 yang menandakan stadiumnya. Dalam menentukan stadium reproduktif, batang utama tetap dipakai sebagai dasar seperti uraian berikut:

#### 1) Stadium mulai berbunga ( R 1 )

Stadium ini ditandai dengan terbukanya bunga pertama pada buku manapun. Umur berbunga ini bervariasi menurut umur varietas tanaman kedelai, biasanya mulai dari umur 35 sampai 45 hari. Pada saat ini ketersediaan air harus secukupnya, terlalu kering dapat menyebabkan bunga kering dan gugur.

Hama tanaman yang mungkin menyerang adalah kumbang daun kedelai, ulat gerayak, ulat jengkal, ulat buah (*Helicoverpa armigera* dan *Heliothis spp.*) dan penggerek batang (*Etiella zinckenella* dan *E. hobsoni*), serta pengisap polong yaitu kepik hijau (*Nezara viridula*) dan kepik hijau pucat (*Piezodorus hybneri*) dan kepik coklat kedelai (*Riptortus linearis* dan *R. spp.*).

Serangga hama lainnya yang mungkin dijumpai ialah penggerek pucuk, pelipat daun, penggulung daun, tungau merah ( *Melanacanthus sp* ), dan *vector virus* ( kutu kebul dan kutu hijau ).

Pada stadium ini beberapa jenis hama telah mencapai instar tiga dan apabila sebelumnya tidak dilakukan pengendalian. Pada awal *fase* ini *imago* dan telur penggerek polong dan penghisap polong mulai dijumpai dan umumnya puncak populasi telur terjadi sekitar 50 hst. Penyakit utama pada daun dalam *fase* ini adalah : Hawar bakteri (*Pseudomonas sp.*), bisul bakteri (*Xantomonas sp.*), cendawan karat (*P. pachyrhiz* ). Disamping itu serangan virus kerdil kedelai ( SSV ), virus mozaik kedelai ( SMV ), virus belang tersamar kacang tunggak ( CMMV ).

#### 2) Stadium Berbunga Penuh ( R2 )

Stadium ini ditandai terbukanya bunga pada satu dari dua buku di atas pada batang utama dengan daun terbuka penuh. Biasanya stadium ini pada umur tanaman 45 – 55 hari. Hama dan penyakit utama yang mungkin ditemui sama dengan yang ada pada stadium (R1).

#### 3) Stadium Mulai Berpolong ( R3 )

Stadium ini mulai pada umur tanaman 55 – 65 hari dan ditandai dengan terbentuknya polong pada salah satu dari empat buku teratas pada batang utama.

Hama utama yang mungkin dijumpai ialah hama daun dan hama polong seperti pada stadium sebelumnya. Kerusakan daun pada stadium ini sangat berpengaruh terhadap hasil panen. Stadium perkembangan hama yang perlu diperhatikan adalah ; *imago, nimfa*, dan telur kumbang daun kedelai ; *imago, nimfa*, dan telur penghisap polong ; *larva* penggerek polong. Keberadaan hama penggerek polong sangat membahayakan produksi, oleh karena itu perlu dilakukan pengamatan populasi secara intensif. Penyakit utama pada stadium ini adalah : karat daun, busuk coklat dan bintik hitam/*Antraknosa* yang dapat menginfeksi polong dan biji.

#### 4) Stadium Berpolong Penuh ( R4 )

Stadium ini umur 60 – 70 hari dan tergantung pada *varietas*. Pada saat ini terbentuk polong sepanjang 2 cm pada salah satu buku dari 4 buku teratas pada

batang utama. Kekurangan air dapat menyebabkan terganggunya stadium pengisian biji. Hama dan penyakit utama yang mungkin ada sama dengan stadium sebelumnya ( R3 ).

#### 5) Stadium Mulai Berbiji ( R5 )

Stadium ini disebut stadium awal pengisian biji yang umumnya mulai pada umur 65 – 75 hari, yang ditandai dengan terbentuknya biji sebesar 3 mm dalam polong pada salah satu dari 4 buku teratas. Pada stadium ini perlu pengamatan serangan hama dan penyakit. Diantara hama utama yang banyak berkembang adalah kepik hijau ( *Nezara viridula. L* ), yang menghisap polong menyebabkan polong kempes, mengering dan menjadi hitam kemudian penggerek polong ( *Etiella zinckenella. Tryon* ) yang larvanya menggerek polong dan biji. Sedangkan penyakit yang sering timbul pada stadium ini adalah karat jamur kedelai ( *Phakopsora pachyrhizi* ), selain dari pemeliharaan dari hama dan penyakit juga dijaga ketersediaan air tanah.

#### 6) Stadium Biji Penuh ( R6 )

Pengisian biji penuh pada umur tanaman 70 – 80 hari, yang ditandai terisi penuhnya rongga polong dengan sebuah biji hijau pada salah satu dari 4 buku teratas pada batang utama. Hama utama yang harus diwaspadai adalah : penghisap polong, sedangkan untuk hama penggerek polong pada stadium kritisnya sudah lewat. Perkembangan penyakit pada stadium ini sudah kurang.

#### 7) Stadium Mulai Matang ( R7 )

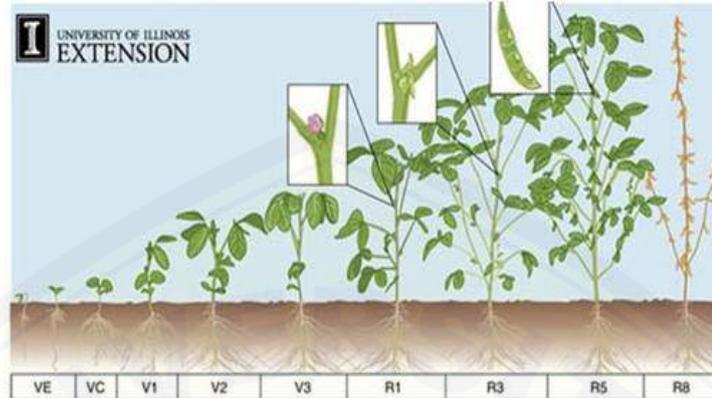
Stadium ini dimulai setelah tanaman berumur 80 hari dan ditandai oleh adanya satu buah polong pada batang utama yang telah mencapai warna matang (coklat muda atau coklat tua).

#### 8) Stadium Matang Penuh ( R8 )

Pada saat ini warna polong sudah coklat, sebagian daun menguning dan kering sehingga kalau terlambat panen daun menggugur.

Uraian stadium *Vegetatif* dan *Reproduktif* tersebut merupakan pertumbuhan dari suatu tanaman yang *Representatif*. Sedangkan yang dipedomani untuk menetapkan setiap stadium tersebut adalah rata – rata dari pengamatan apabila lebih

kurang 50 % dari tanaman telah mencapai atau melampaui stadium pertumbuhan tertentu ( Hidayat. O. D. 1993 ).



**Gambar 2.3** Fase pertumbuhan tanaman kedelai  
(sumber: [http://rendy-franata.blogspot.sg/2012/12/fase-pertumbuhan-tanaman-kedelai\\_12.html](http://rendy-franata.blogspot.sg/2012/12/fase-pertumbuhan-tanaman-kedelai_12.html))

### 2.3 Arduino UNO

Arduino Uno adalah *board* mikrokontroler berbasis ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 *pin* digital *input* / *output* (dimana 6 dapat digunakan sebagai *output* PWM), 6 *input* analog, resonator keramik 16 MHz, koneksi USB, jack listrik, header ICSP, dan tombol *reset*. Arduino Uno dibangun untuk mendukung mikrokontroler, sumber daya bisa menggunakan power USB (jika terhubung ke komputer dengan kabel USB) dan juga dengan adaptor atau baterai.

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino UNO

(Sumber: <http://aozon.blogspot.com/2014/03/mengenal-arduino-uno-lebih-rinci.html#toc5>)

Mikrokontroler	ATmega328
Operasi tegangan	5Volt
Input tegangan	disarankan 7-11Volt
Input tegangan batas	6-20Volt
Pin I/O digital	14 (6 bisa untuk PWM)
Pin Analog	6
Arus DC tiap pin I/O	50mA
Arus DC ketika 3.3V	50mA
Memori flash	32 KB (ATmega328) dan 0,5 KB digunakan oleh bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Kecepatan clock	16 MHz

### 2.3.1 Sumber Daya

Arduino Uno dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal. Sumber daya dipilih secara otomatis. Untuk sumber daya eksternal (*non-USB*) dapat berasal baik dari adaptor AC-DC atau baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan memasukkan 2.1 mm jack DC ke sumber listrik. Baterai dapat dimasukkan pada *pin header* Gnd dan Vin dari konektor daya.

*Board* dapat beroperasi pada pasokan eksternal dari 6 sampai 20 volt. Jika menggunakan tegangan kurang dari 6 volt tidak akan stabil. Tapi jika menggunakan lebih dari 12V, regulator tegangan bisa panas dan merusak papan. Rentang yang dianjurkan adalah 7 sampai 12 volt.

*Pin* listrik yang tersedia adalah sebagai berikut:

- VIN : *Input* tegangan ke *board* Arduino ketika menggunakan sumber daya eksternal. Dapat menyediakan tegangan melalui *pin* ini.
- 5V : *Pin* ini merupakan *output* 5V yang telah diatur oleh regulator papan Arduino. *Board* dapat diaktifkan dengan daya, baik dari sumber listrik DC (7 - 12V), konektor USB (5V), atau *pin* VIN *board* (7-12V). Jika memasukan tegangan melalui *pin* 5V atau 3.3V secara langsung (tanpa melewati regulator) dapat merusak papan Arduino.
- Tegangan pada *pin* 3V3 : 3.3Volt dihasilkan oleh regulator *on-board*. Menyediakan arus maksimum 50 mA.
- GND : *Pin* Ground.
- IOREF : *Pin* ini di papan Arduino memberikan tegangan referensi ketika mikrokontroler beroperasi. Sebuah *shield* yang dikonfigurasi dengan benar dapat membaca *pin* tegangan IOREF sehingga dapat memilih sumber daya yang tepat agar dapat bekerja dengan 5V atau 3.3V.

### 2.3.2 Memori

ATmega328 memiliki 32 KB (dengan 0,5 KB digunakan untuk *bootloader*). ATmega328 juga memiliki 2 KB dari SRAM dan 1 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan perpustakaan / *library* EEPROM).

### 2.3.3 Input dan Output

Masing-masing dari 14 *pin* digital Arduino Uno dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Mereka beroperasi pada tegangan 5 volt. Setiap *pin* dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki resistor *pull-up* internal (terputus secara *default*) dari 20-50 KOhms. Selain itu, beberapa *pin* memiliki fungsi spesial:

- Serial: *pin* 0 (RX) dan 1 (TX) Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan (TX) data serial TTL. *Pin* ini terhubung dengan *pin* ATmega8U2 USB-to-Serial TTL.
- *Eksternal Interupsi*: *Pin* 2 dan 3 dapat dikonfigurasi untuk memicu *interrupt* pada nilai yang rendah (*low value*), *rising* atau *falling edge*, atau perubahan nilai.
- PWM: *Pin* 3, 5, 6, 9, 10, dan 11 Menyediakan 8-bit PWM dengan fungsi *analogWrite()*
- SPI: *pin* 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK) mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan perpustakaan SPI
- LED: *pin* 13. Built-in LED terhubung ke *pin* digital 13. LED akan menyala ketika diberi nilai *HIGH*

Arduino Uno memiliki 6 *input* analog, berlabel A0 sampai A5, yang masing-masing menyediakan resolusi 10 bit (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Secara *default* mereka mengukur dari *ground* sampai 5 volt, perubahan tegangan maksimal menggunakan *pin* AREF dan fungsi *analogReference()*. Selain itu, beberapa *pin* tersebut memiliki spesialisasi fungsi, yaitu TWI: *pin* A4 atau SDA dan A5 atau SCL mendukung komunikasi TWI menggunakan perpustakaan *Wire*. Ada beberapa *pin* lainnya yang tertulis di *board*:

- AREF : Tegangan referensi untuk *input* analog. Dapat digunakan dengan fungsi *analogReference()*.
- Reset : Gunakan *LOW* untuk me-*reset* mikrokontroler. Biasanya digunakan untuk menambahkan tombol *reset*.

### 2.3.4 Komunikasi

Arduino Uno memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. ATmega328 menyediakan UART TTL (5V) komunikasi serial, yang tersedia pada *pin* digital 0 (RX) dan 1 (TX). Pada ATmega16U2 saluran komunikasi serial melalui USB dan muncul sebagai *com port virtual* untuk perangkat lunak pada komputer. *Firmware* 16U2 menggunakan *standar driver* USB COM, dan tidak ada *driver* eksternal diperlukan. Namun, pada Windows, diperlukan file .inf. Perangkat lunak Arduino termasuk monitor serial yang memungkinkan data tekstual sederhana akan dikirim ke dan dari papan Arduino. RX dan TX LED di papan akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui chip USB-to-serial dan koneksi USB komputer (tetapi tidak untuk komunikasi serial pada *pin* 0 dan 1).

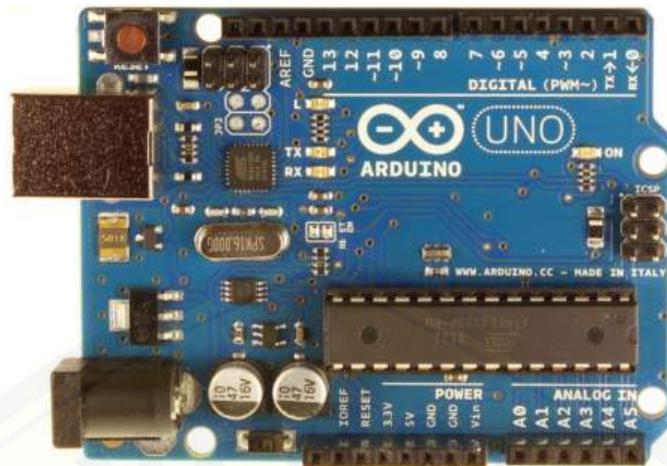
ATmega328 juga mendukung I2C (TWI) dan komunikasi SPI. Perangkat lunak Arduino termasuk perpustakaan *Wire* berfungsi menyederhanakan penggunaan *bus* I2C. Untuk komunikasi SPI, menggunakan perpustakaan SPI.

### 2.3.5 Perlindungan Arus USB

Arduino Uno memiliki *polyfuse reset* yang melindungi *port* USB dari arus pendek atau berlebih. Meskipun kebanyakan komputer memberikan perlindungan internal sendiri, sekering menyediakan lapisan perlindungan tambahan. Jika lebih dari 500 mA, sekering otomatis bekerja.

### 2.3.6 Karakteristik Fisik

Panjang maksimum dan lebar PCB Uno masing-masing adalah 2,7 dan 2,1 inci, dengan konektor USB dan sumber listrik yang melampaui dimensi tersebut. Empat lubang sekrup memungkinkan *board* harus terpasang ke permukaan. Jika dicermati, jarak antara *pin* digital 7 dan 8 adalah 0,16", tidak seperti *pin* lainnya.



**Gambar 2.4** Board Arduino UNO

(Sumber: <http://aozon.blogspot.com/2014/03/mengenal-arduino-uno-lebih-rinci.html#toc5>)

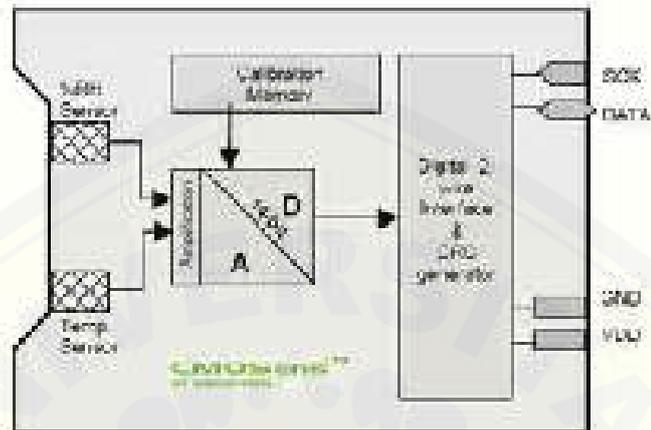
#### 2.4 Sensor SHT 11

Sensor adalah peralatan yang digunakan untuk merubah suatu besaran fisis menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisa dengan rangkaian listrik tertentu. Sensor yang digunakan dalam sistem kontrol ini yaitu sensor SHT 11 yang mampu mendeteksi nilai suhu dan kelembaban tertentu.

SHT 11 adalah sebuah *single chip* sensor suhu dan kelembaban relatif dengan multi modul sensor yang *outputnya* telah dikalibrasikan secara digital. Di bagian dalamnya terdapat *kapasitif polimer* sebagai elemen untuk sensor kelembaban relatif dan sebuah pita regangan yang digunakan sebagai sensor *temperatur*. *Output* kedua sensor digabungkan dan dihubungkan pada ADC 14 bit dan sebuah *interface serial* pada satu chip yang sama.

Sensor ini menghasilkan sinyal keluaran yang baik dengan waktu respon yang cepat. SHT 11 dikalibrasi pada ruangan dengan kelembaban yang teliti menggunakan *hygrometer* sebagai referensinya. Koefisien kalibrasinya telah diprogramkan kedalam OTP memory. Koefisien tersebut akan digunakan untuk mengkalibrasi keluaran dari sensor selama proses pengukuran. 2-wire alat penghubung serial dan regulasi tegangan internal membuat lebih mudah dalam pengintegrasian sistem. Ukurannya yang kecil dan konsumsi daya yang rendah membuat sensor ini adalah pilihan yang tepat. Didalam piranti SHT 11 terdapat

suatu *surface-mountable* LLC (*Leadless Chip Carrier*) yang berfungsi sebagai suatu *pluggable 4-pin single-in-line* untuk jalur data dan *clock*, blok diagram chip SHT 11 dapat dilihat pada gambar berikut.



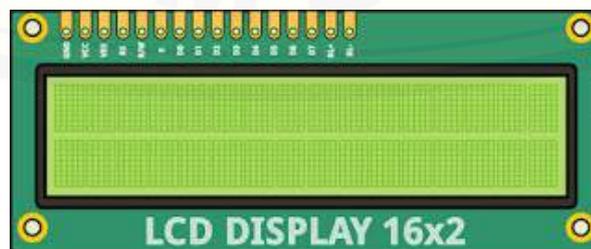
**Gambar 2.5** Blok diagram pada chip SHT 11

(sumber :<http://fahmizaleeits.wordpress.com/tag/cara-kerja-sensor-sht11/>)

SHT 11 membutuhkan *supply* tegangan 2.4 dan 5.5 V. SCK (*Serial Clock Input*) digunakan untuk mensinkronkan komunikasi antara mikrokontroler dengan SHT 11. DATA (*Serial Data*) digunakan untuk transfer data dari dan ke SHT 11.

## 2.5 LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. Namun tidak bisa menampilkan cahaya sendiri tentunya, terdapat sumber cahaya berupa lampu neon berwarna putih di belakang susunan kristal cair.



**Gambar 2.6** LCD 16x2

(sumber: <http://dimasbayusragen.blogspot.com/2013/11/mengenal-belajar-dengan-lcd-arduino.html>)

Berikut fungsi dari *pin* LCD 16x2 :

Tabel 2.2 Fungsi *pin* LCD

(sumber: <http://dimasbayusragen.blogspot.com/2013/11/mengenal-belajar-dengan-lcd-arduino.html>)

PIN ASSIGNMENT		
Pin no.	Symbol	Function
1	Vss	Power supply(GND)
2	Vdd	Power supply(+)
3	Vo	Contrast Adjust
4	RS	Register select signal
5	R/W	Data read / write
6	E	Enable signal
7	DB0	Data bus line
8	DB1	Data bus line
9	DB2	Data bus line
10	DB3	Data bus line
11	DB4	Data bus line
12	DB5	Data bus line
13	DB6	Data bus line
14	DB7	Data bus line
15	A	Power supply for LED B/L (+)
16	K	Power supply for LED B/L (-)

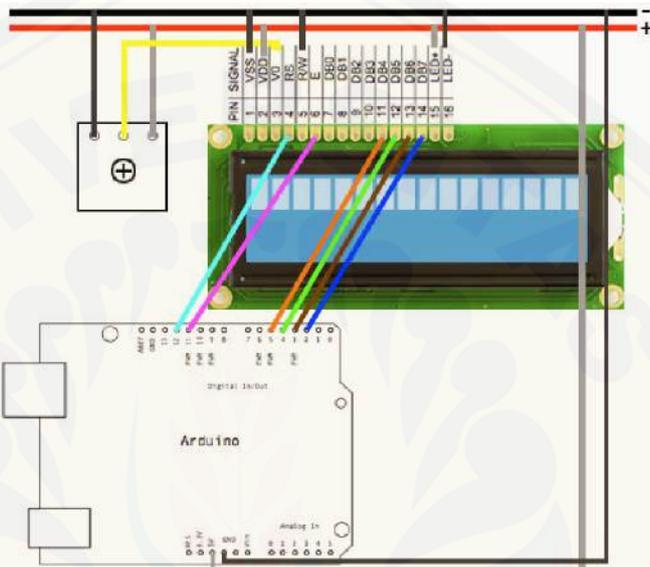
Beberapa penjelasan mengenai *pin* LCD :

- 1) *Pin* LCD nomor 3 (Vo) adalah untuk *contrast* lcd tersebut yang akan dihubungkan dengan potensio.
- 2) *Pin* LCD nomor 4 (RS) adalah Register Kontrol atau Register Data. Register kontrol digunakan untuk menulis data ke memori display LCD.
- 3) *Pin* LCD nomor 5 (R/W) untuk memilih data yang digunakan *READ* atau *WRITE*. Karena kebanyakan fungsi hanya perlu menulis data saja ke LCD, maka dihubungkan ke GND (WRITE).
- 4) *Pin* LCD nomor 6 (ENABLE) digunakan untuk mengaktifkan LCD pada proses penulisan data ke Register Kontrol dan Register Data LCD.

Koneksi LCD dengan *Board* Arduino sebagai berikut:

1. *Pin* 1 (Vss) dihubungkan dengan *pin ground* arduino
2. *Pin* 2 (Vdd) dihubungkan dengan *pin 5v* arduino
3. *Pin* 3 (Vo) dihubungkan dengan potensio
4. *Pin* 4 (RS) disambungkan dengan *pin* arduino digital *pin* 12
5. *Pin* 5 (R/W) dihubungkan dengan *pin ground* arduino
6. *Pin* 6 (E) dihubungkan dengan *pin* arduino digital *pin* 11

7. Pin 11 (DB4) dihubungkan dengan *pin* arduino digital *pin* 5
8. Pin 12 (DB5) dihubungkan dengan *pin* arduino digital *pin* 4
9. Pin 13 (DB6) dihubungkan dengan *pin* arduino digital *pin* 3
10. Pin 14 (DB7) dihubungkan dengan *pin* arduino digital *pin* 2
11. Pin 15 (A) dihubungkan dengan *pin* 5v arduino
12. Pin 16 (K) dihubungkan dengan *pin* *ground* arduino

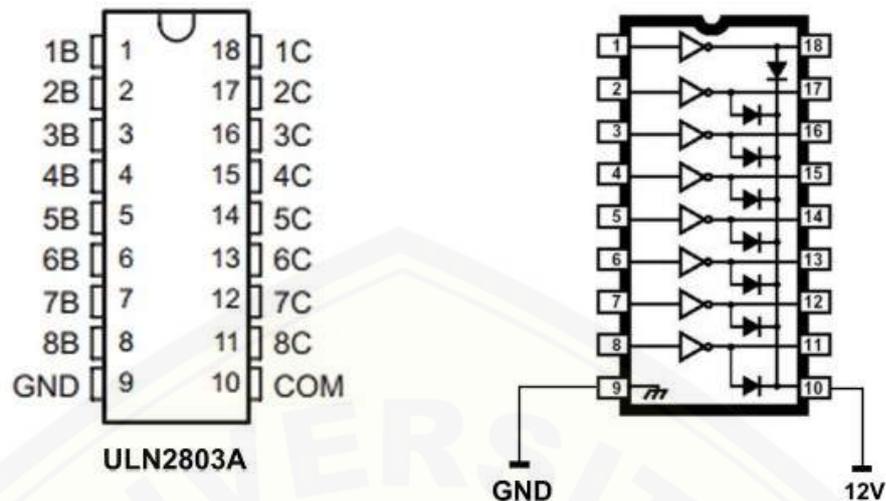


**Gambar 2.7** Koneksi LCD dengan *board* arduino

(sumber: <http://dimasbayusragen.blogspot.com/2013/11/mengenal-belajar-dengan-lcd-arduino.html>)

## 2.6 IC ULN 2803A

IC ini merupakan piranti yang menghubungkan dua piranti lainnya. *Driver* biasanya mempunyai *impedansi* masukan yang tinggi dan *impedansi* keluaran yang rendah, yang dalam sistem digital berarti arus masukan yang kecil dan arus keluaran yang besar. IC ULN 2803A merupakan *driver* yang didalamnya berisi rangkaian transistor darlington 8 pasang. Setiap pasangan transistor darlington mampu mengendalikan beban 500mA, dan apabila diperlukan untuk mengemudikan beban yang lebih besar maka dapat disusun secara paralel.



**Gambar 2.8** IC ULN 2803A  
(Sumber :<http://freedatasheets.com/blog/>)

## 2.7 Aktuator

Aktuator adalah sebuah peralatan mekanis untuk menggerakkan atau mengontrol sebuah mekanisme atau sistem. Aktuator diaktifkan dengan menggunakan lengan mekanis yang biasanya digerakkan oleh motor listrik, yang dikendalikan oleh media pengontrol otomatis yang terprogram di antaranya mikrokontroler. Aktuator adalah elemen yang mengkonversikan besaran listrik analog menjadi besaran lainnya misalnya kecepatan putaran dan merupakan perangkat elektromagnetik yang menghasilkan daya gerakan sehingga dapat menghasilkan gerakan pada robot. Untuk meningkatkan tenaga mekanik aktuator ini dapat dipasang sistem *gearbox*. Aktuator dapat melakukan hal tertentu setelah mendapat perintah dari *controller*. Misalnya pada suatu robot pencari cahaya, jika terdapat cahaya, maka sensor akan memberikan informasi pada *controller* yang kemudian akan memerintah pada aktuator untuk bergerak mendekati arah sumber cahaya.

Aktuator dalam perspektif kontrol dapat dikatakan sebagai :

- 1) Aktuator : Pintu kendali ke sistem
- 2) Aktuator : Pengubah sinyal listrik menjadi besaran mekanik
- 3) Batasan aktuator riil : Sinyal kemudi terkesil, saturasi.

Fungsi aktuator adalah sebagai berikut.

- 1) Penghasil gerakan
- 2) Gerakan rotasi dan translasi
- 3) Mayoritas aktuator > motor based
- 4) Aktuator dalam simulasi cenderung dibuat linier
- 5) Aktuator riil cenderung non-linier

Jenis tenaga penggerak pada aktuator

- 1) Aktuator tenaga listrik, biasanya digunakan *solenoid*, motor arus searah (Mesin DC). Sifat mudah diatur dengan torsi kecil sampai sedang
- 2) Aktuator tenaga hidrolik, torsi yang besar konstruksinya sukar.
- 3) Aktuator tenaga *pneumatik*, sukar dikendalikan.
- 4) Aktuator lainnya: *piezoelectric, magnetic, ultra sound*.

Tipe aktuator elektrik adalah sebagai berikut:

- 1) *Solenoid*.
- 2) Motor *stepper*.
- 3) Motor DC.
- 4) *Brushless DC-motors*.
- 5) Motor Induksi.
- 6) Motor Sinkron.

Keunggulan aktuator elektrik adalah sebagai berikut:

- 1) Mudah dalam pengontrolan
- 2) Mulai dari mW sampai MW.
- 3) Berkecepatan tinggi, 1000 – 10.000 rpm.
- 4) Banyak macamnya.
- 5) Akurasi tinggi
- 6) Torsi ideal untuk pergerakan.
- 7) Efisiensi tinggi

### 2.7.1 *Blower Heater*

Listrik merupakan salah satu bentuk energi yang dihasilkan dari adanya gerakan partikel-partikel bermuatan seperti *elektron*, *positron*, dan *ion*. Energi listrik termasuk energi yang mudah diubah menjadi bentuk-bentuk energi lain. Proses pengubahan energi listrik menjadi bentuk-bentuk energi yang lain ini dapat dilakukan dengan menggunakan alat-alat listrik. Hampir setiap peralatan dalam kehidupan rumah tangga menggunakan energi listrik. Peralatan dapur seperti *rice cooker*, *dispenser*, kompor, dan kulkas menggunakan energi listrik. Media hiburan seperti televisi dan radio pun memanfaatkan energi listrik. Selain itu, ada salah satu alat yang menggunakan energi listrik, yaitu *heater* ruangan. *Heater* ruangan merupakan salah satu alat listrik yang termasuk dalam kelompok pemanas listrik (*electric heater*), yaitu alat listrik yang menggunakan elemen pemanas sebagai komponen utamanya.

Pada dasarnya, *heater* terdiri dari elemen pemanas dan *blower* atau kipas. Elemen pemanas merupakan bagian *heater* yang bertugas untuk mengubah energi listrik menjadi energi panas (kalor). Lempeng logam merupakan bagian setrika listrik yang berfungsi untuk meneruskan energi panas yang kemudian ditambah kipas untuk menyebarkan kalor ke ruangan sekitar. Elemen pemanas pada *heater* biasanya berupa koil atau lilitan kawat. Ketika kabel penghubung dihubungkan ke sumber listrik, arus listrik akan segera mengalir melalui elemen. Desain atau bentuk konfigurasi lilitan kawat pada elemen yang membentuk koil akan membuat energi listrik terdisipasi cukup besar di dalam lilitan tersebut sehingga akan timbul energi panas atau kalor yang ukurannya juga cukup besar. Pemasangan elemen pemanas dirancang untuk memungkinkan terjadinya transfer kalor ke ruangan sekitar dengan menggunakan kipas.

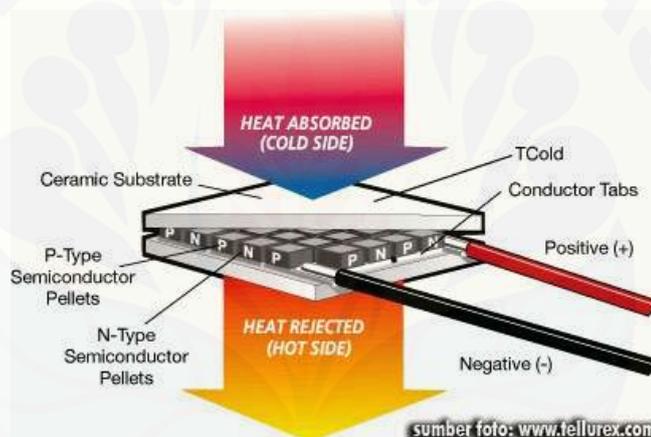
### 2.7.2 *Pendingin Peltier*

Keramik *Peltier* atau lebih dikenal dengan lempengan *Peltier* adalah lempengan berbahan dasar keramik yang memiliki fungsi sangat unik. *Peltier* ini adalah modul *Thermo-Electric*, umumnya dibungkus oleh keramik tipis yang

berisikan batang-batang *Bismuth Telluride* di dalamnya. Ketika disupply tegangan DC 12volt-15volt salah satu sisi akan menjadi panas dan sisi lainnya menjadi dingin. *Peltier* memiliki 2 bagian yang berbeda, yakni :

- 1) *Cool Side (Heat Absorbed)* yang bekerja menyerap kalor (panas) sehingga bagian ini merupakan lempengan yang dingin.
- 2) *Hot Side (Heat Released)* yang bekerja melepas kalor (panas) sehingga bagian ini merupakan lempengan panas.

Perbedaan suhu antara kedua bagian adalah sekitar 30 derajat celsius. Sehingga apabila bagian *Hot Side* bersuhu 45 derajat C maka *Cool Side* akan bersuhu sekitar 15 derajat C. Jadi semakin dingin *Hot Side* maka *Cold Side* akan semakin dingin pula dan bisa sampai dibawah 0 derajat celsius.



**Gambar 2.9** Susunan *peltier*

(sumber: <http://reswaraku.blogspot.com/2014/04/penasaran-dengan-cara-kerja-kulkas-mini.html>)



**Gambar 2.10** Bunga es yang dihasilkan *peltier*

(sumber: <http://reswaraku.blogspot.com/2014/04/penasaran-dengan-cara-kerja-kulkas-mini.html>)

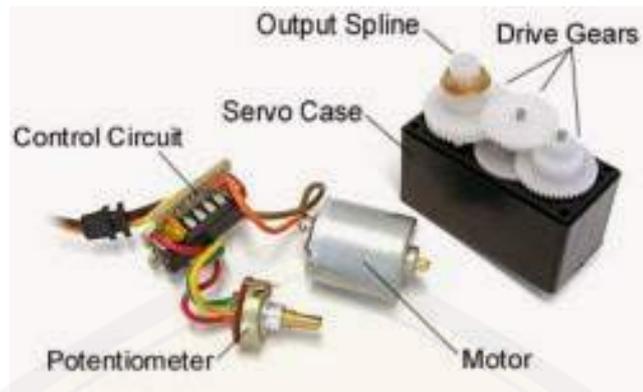
Lempeng *Peltier* ini awalnya banyak digunakan untuk mendinginkan Prosesor Komputer, sehingga performanya selalu optimal. Namun seiring perkembangan waktu, alat ini juga bisa dimanfaatkan untuk membuat Kulkas MINI USB. Jika diberi arus yang optimal, sisi dingin dari lempeng *peltier* ini bisa mencapai suhu yang mendekati beku. Artinya dengan desain tertentu, kotak plastik dari Kulkas Mini USB ini bisa membuat sekaleng *softdrink* menjadi dingin seperti saat memasukannya ke dalam Kulkas. Walaupun sebagai konsekuensinya seperti halnya daya baterai laptop akan cepat habis karena Kulkas ini.

### 2.7.3 Motor Servo

Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik *loop* tertutup (servo), sehingga dapat di *set-up* atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros *output* motor. Motor servo merupakan perangkat yang terdiri dari motor DC, serangkaian gear, rangkaian kontrol dan potensiometer. Serangkaian gear yang melekat pada poros motor DC akan memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi motor servo, sedangkan potensiometer dengan perubahan resistansinya saat motor berputar berfungsi sebagai penentu batas posisi putaran poros motor servo.

Penggunaan sistem kontrol *loop* tertutup pada motor servo berguna untuk mengontrol gerakan dan posisi akhir dari poros motor servo. Penjelasan sederhananya, posisi poros *output* akan di sensor untuk mengetahui posisi poros sudah tepat seperti yang diinginkan atau belum, dan jika belum, maka kontrol *input* akan mengirim sinyal kendali untuk membuat posisi poros tersebut tepat pada posisi yang diinginkan. Untuk lebih jelasnya mengenai sistem kontrol *loop* tertutup, dapat dilihat contoh sederhana beberapa aplikasi lain dari sistem kontrol *loop* tertutup, seperti penyetelan suhu pada AC, kulkas, setrika dan lain sebagainya.

Motor servo biasa digunakan dalam aplikasi-aplikasi di industri, selain itu juga digunakan dalam berbagai aplikasi lain seperti pada mobil mainan radio kontrol, robot, pesawat, dan lain sebagainya.



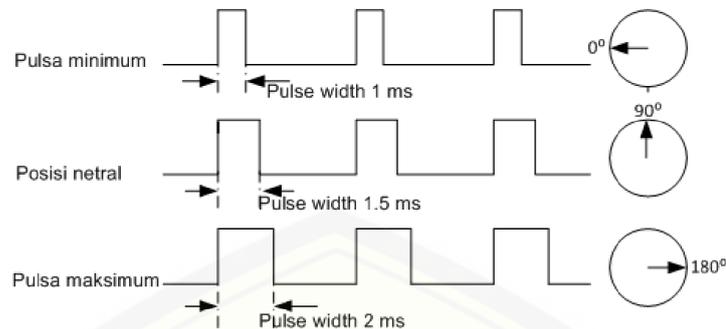
**Gambar 2.11** Komponen penyusun motor servo

(sumber: <http://trikueni-desain-sistem.blogspot.com/2014/03/Pengertian-Motor-Servo.html>)

Ada dua jenis motor servo, yaitu motor servo AC dan DC. Motor servo AC lebih dapat menangani arus yang tinggi atau beban berat, sehingga sering diaplikasikan pada mesin-mesin industri. Sedangkan motor servo DC biasanya lebih cocok untuk digunakan pada aplikasi-aplikasi yang lebih kecil. Dan bila dibedakan menurut rotasinya, umumnya terdapat dua jenis motor servo yang terdapat di pasaran, yaitu motor servo *rotation 180°* dan servo *rotation continuous*.

- 1) Motor servo *standard* (servo *rotation 180°*) adalah jenis yang paling umum dari motor servo, dimana putaran poros *outputnya* terbatas hanya  $90^\circ$  kearah kanan dan  $90^\circ$  kearah kiri. Dengan kata lain total putarannya hanya setengah lingkaran atau  $180^\circ$ .
- 2) Motor servo *rotation continuous* merupakan jenis motor servo yang sebenarnya sama dengan jenis servo *standard*, hanya saja perputaran porosnya tanpa batasan atau dengan kata lain dapat berputar terus, baik ke arah kanan maupun kiri.

Motor servo dikendalikan dengan memberikan sinyal modulasi lebar pulsa (*Pulse Wide Modulation / PWM*) melalui kabel kontrol. Lebar pulsa sinyal kontrol yang diberikan akan menentukan posisi sudut putaran dari poros motor servo. Sebagai contoh, lebar pulsa dengan waktu 1,5 ms (mili detik) akan memutar poros motor servo ke posisi sudut  $90^\circ$ . Bila pulsa lebih pendek dari 1,5 ms maka akan berputar ke arah posisi  $0^\circ$  atau ke kiri (berlawanan dengan arah jarum jam), sedangkan bila pulsa yang diberikan lebih lama dari 1,5 ms maka poros motor servo akan berputar ke arah posisi  $180^\circ$  atau ke kanan (searah jarum jam). Lebih jelasnya perhatikan gambar dibawah ini.



**Gambar 2.12** PWM dan posisi sudut putaran

(sumber: <http://trikueni-desain-sistem.blogspot.com/2014/03/Pengertian-Motor-Servo.html>)

Ketika lebar pulsa kendali telah diberikan, maka poros motor servo akan bergerak atau berputar ke posisi yang telah diperintahkan, dan berhenti pada posisi tersebut dan akan tetap bertahan pada posisi tersebut. Jika ada kekuatan eksternal yang mencoba memutar atau mengubah posisi tersebut, maka motor servo akan mencoba menahan atau melawan dengan besarnya kekuatan torsi yang dimilikinya (*rating torsi servo*). Namun motor servo tidak akan mempertahankan posisinya untuk selamanya, sinyal lebar pulsa kendali harus diulang setiap 20 ms (mili detik) untuk menginstruksikan agar posisi poros motor servo tetap bertahan pada posisinya.



**Gambar 2.13** Contoh motor servo

(sumber: <http://trikueni-desain-sistem.blogspot.com/2014/03/Pengertian-Motor-Servo.html>)

## 2.8 Algoritma Perancangan Pengendali Fuzzy

*Soft Computing* merupakan inovasi baru dalam membangun sistem cerdas. Sistem cerdas ini merupakan sistem yang memiliki keahlian seperti manusia pada

domain tertentu, mampu beradaptasi dan belajar agar dapat bekerja lebih baik jika terjadi perubahan lingkungan. Unsur-unsur pokok dalam *Soft Computing* adalah : Sistem *fuzzy*, Jaringan Saraf Tiruan, *Probabilistic Reasoning*, *Evolutionary Computing*. Sistem fuzzy secara umum terdapat 5 langkah dalam melakukan penalaran, yaitu:

1. Memasukkan *input fuzzy*.
2. Mengaplikasikan operator fuzzy.
3. Mengaplikasikan metode implikasi.
4. Komposisi semua *output*.
5. *Defuzifikasi*.

Logika Fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* ke dalam ruang *output*. Untuk sistem yang sangat rumit, penggunaan logika fuzzy (*fuzzy logic*) adalah salah satu pemecahannya. Sistem tradisional dirancang untuk mengontrol keluaran tunggal yang berasal dari beberapa masukan yang tidak saling berhubungan. Karena ketidaktergantungan ini, penambahan masukan yang baru akan memperumit proses kontrol dan membutuhkan proses perhitungan kembali dari semua fungsi. Kebalikannya, penambahan masukan baru pada sistem fuzzy, yaitu sistem yang bekerja berdasarkan prinsip-prinsip logika fuzzy, hanya membutuhkan penambahan fungsi keanggotaan yang baru dan aturan-aturan yang berhubungan dengannya.

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.

Sistem fuzzy mempunyai beberapa keuntungan bila dibandingkan dengan sistem tradisional, misalkan pada jumlah aturan yang dipergunakan. Pemrosesan awal sejumlah besar nilai menjadi sebuah nilai derajat keanggotaan pada sistem fuzzy mengurangi jumlah nilai menjadi sebuah nilai derajat keanggotaan pada sistem fuzzy mengurangi jumlah nilai yang harus dipergunakan pengontrol untuk

membuat suatu keputusan. Keuntungan lainnya adalah sistem fuzzy mempunyai kemampuan penalaran yang mirip dengan kemampuan penalaran manusia. Hal ini disebabkan karena sistem fuzzy mempunyai kemampuan untuk memberikan respon berdasarkan informasi yang bersifat kualitatif, tidak akurat, dan ambigu. Ada beberapa alasan penggunaan Logika Fuzzy :

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

Sistem fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Prof. L. A. Zadeh dari Berkelay pada tahun 1965. Sistem fuzzy merupakan penduga numerik yang terstruktur dan dinamis. Sistem ini mempunyai kemampuan untuk mengembangkan sistem intelijen dalam lingkungan yang tak pasti. Sistem ini menduga suatu fungsi dengan logika fuzzy. Dalam logika fuzzy terdapat beberapa proses yaitu penentuan himpunan fuzzy, penerapan aturan *IF-THEN* dan proses *inferensi fuzzy*.

Ada beberapa metode untuk merepresentasikan hasil logika fuzzy yaitu metode Tsukamoto, Sugeno dan Mamdani. Pada metode Tsukamoto, setiap konsekuen direpresentasikan dengan himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan monoton. *Output* hasil inferensi masing-masing aturan adalah  $z$ , berupa himpunan biasa (*crisp*) yang ditetapkan berdasarkan predikatnya. Hasil akhir diperoleh dengan menggunakan rata-rata terbobotnya.

Metode Sugeno mirip dengan metode Mamdani, hanya *output* (konsekuen) tidak berupa himpunan fuzzy, melainkan berupa konstanta atau persamaan linier.

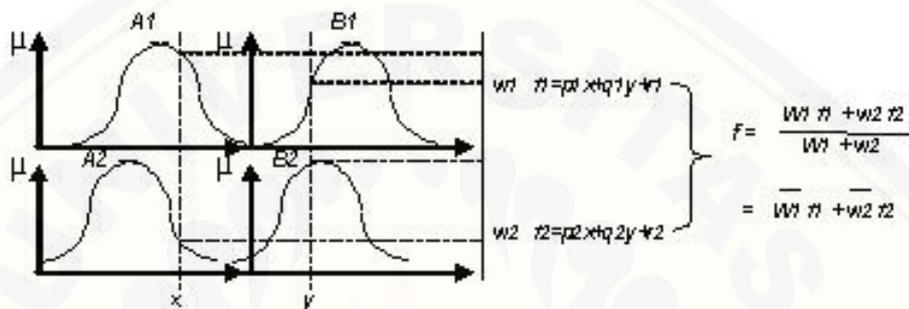
Ada dua model metode Sugeno yaitu model fuzzy Sugeno orde nol dan model fuzzy Sugeno orde satu. Bentuk umum model fuzzy Sugeno orde nol adalah :

$$IF (x1 \text{ is } A1) \text{ o } (x2 \text{ is } A2) \text{ o } \dots \text{ o } (xn \text{ is } An) \text{ THEN } z = k \dots\dots\dots(2.1)$$

Bentuk umum model fuzzy Sugeno orde satu adalah :

$$IF(x1 \text{ is } A1) \text{ o } (x2 \text{ is } A2) \text{ o } \dots \text{ o } (xn \text{ is } An) \text{ THEN } z = p1.x1 + \dots pn.xn + q\dots( 2.2)$$

Defuzzifikasi pada metode Sugeno dilakukan dengan mencari nilai rata-ratanya.



**Gambar 2.14** Model fuzzy Sugeno orde 1  
(sumber:<http://socs.binus.ac.id/2012/03/02/pemodelan-dasar-sistem-fuzzy/>)

Pada metode Mamdani, aplikasi fungsi implikasi menggunakan *MIN*, sedang komposisi aturan menggunakan metode *MAX*. Metode Mamdani dikenal juga dengan metode *MAX-MIN*. *Inferensi output* yang dihasilkan berupa bilangan fuzzy maka harus ditentukan suatu nilai *crisp* tertentu sebagai *output*. Proses ini dikenal dengan *defuzzifikasi*. Ada beberapa tahapan untuk mendapatkan *output* yaitu:

1. Pembentukan himpunan fuzzy

Pada metode Mamdani baik *variabel input* maupun *variabel output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.

2. Aplikasi fungsi implikasi

Pada metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah *Min*.

3. Komposisi Aturan

Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka *inferensi* diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada 3

metode yang digunakan dalam melakukan *inferensi* sistem fuzzy yaitu : *Max*, *Additive* dan Probabilistik OR

a) Metode Max (*Maximum*)

Pada metode ini solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah fuzzy dan mengaplikasikan ke *output* dengan menggunakan operator OR(*union*). Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka *output* akan berisi suatu himpunan fuzzy yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proposisi. Secara umum dapat dituliskan :

$$\mu_{sf}[xi] \leftarrow \max ( \mu_{sf}[xi] , \mu_{kf}[xi] ) \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan :

$\mu_{sf}[xi]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}[xi]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i

b) Metode *Additive (Sum)*

Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan *bounded-sum* terhadap semua *output* daerah fuzzy. Secara umum dituliskan:

$$\mu_{sf}[xi] \leftarrow \max ( 1, \mu_{sf}[xi] + \mu_{kf}[xi] ) \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan:

$\mu_{sf}[xi]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}[xi]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i

c) Metode *Probabilistik OR*

Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan *product* terhadap semua *output* daerah fuzzy. Secara umum dituliskan :

$$\mu_{sf}[xi] \leftarrow \max ( \mu_{sf}[xi] + \mu_{kf}[xi] ) - ( \mu_{sf}[xi] * \mu_{kf}[xi] ) \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan:

$\mu_{sf}[xi]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}[xi]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i

#### 4. Penegasan /Defuzzifikasi

*Input* dari proses *Defuzzifikasi* adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam *range* tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai *output*.

Ada beberapa metoda yang dipakai dalam *defuzzifikasi*:

##### a) Metode *Centroid*

Pada metode ini penetapan nilai *crisp* dengan cara mengambil titik pusat daerah fuzzy.

##### b) Metode *Bisektor*

Pada metode ini , solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain fuzzy yang memiliki nilai keanggotaan seperti dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah fuzzy.

##### c) Metode *Means of Maximum (MOM)*

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

##### d) Metode *Largest of Maximum (LOM)*

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

##### e) Metode *Smallest of Maksimum (SOM)*

Solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian tugas akhir rancang bangun sistem kendali suhu dan kelembaban pada *prototype greenhouse* tanaman kedelai dengan pemanfaatan *peltier* menggunakan metode *fuzzy logic* dilakukan setelah pelaksanaan seminar proposal yang pelaksanaan kegiatan penelitiannya dilakukan di indekos pelaksana yang bertempat di Jl. Baturaden VI No. 51, Kel. Tegalgede, Kec. Sumbersari, Jember.

### 3.2 Tahapan Penelitian

Dalam pembuatan tugas akhir ini dibutuhkan langkah-langkah perancangan sebagai berikut :

#### 1) Studi Literatur

Tahap awal dari penelitian ini mencari literatur dari hasil penelitian sebelumnya. Diharapkan dengan literatur yang didapat bisa memberikan keyakinan bahwa penelitian ini dapat dilaksanakan dan memberikan arahan untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian.

#### 2) Pembelian bahan pembuatan

Tahap kedua adalah pembelian material pendukung dalam pembuatan pengontrol suhu dan kelembaban. Pembelian ini meliputi alat dan komponen pendukung.

#### 3) Perancangan alat

Tahap ketiga merupakan proses pengerjaan yaitu alat dan bahan yang telah dibeli digunakan untuk membangun sistem mekanik dan komponen untuk pembuatan rangkaian pengontrol suhu dan kelembaban.

#### 4) Pengerjaan alat baik mekanik dan rangkaian

Tahap keempat penggabungan dari mekanik dan rangkaian yang telah dibuat. Proses ini meliputi penempatan letak rangkaian sangat menentukan dalam proses pencarian data saat pendeteksi bekerja.

#### 5) Pengujian alat

Tahap keempat adalah pengujian alat diharapkan dengan adanya tahap ini fungsi kerja baik mekanik dan rangkaian yang telah dibuat sudah masuk dan sesuai dengan target yang diharapkan. Sehingga nantinya alat yang telah dibuat dapat bekerja secara maksimal.

#### 6) Pengambilan data dan analisis

Mengambil data yang didapatkan pada saat pengujian, diharapkan pada tahap ini dapat ditemukan sebuah gagasan baru dalam mengurangi kesalahan pada tiap tahapan sebelumnya.

#### 7) Pembahasan

Tahap ketujuh adalah pembahasan setelah dilakukan pengambilan data dan analisis pada alat pengontrol suhu dan kelembaban

#### 8) Laporan

Tahap kedelapan atau tahap terakhir merupakan hasil dari semua tahapan yaitu membuat laporan alat pengontrol suhu dan kelembaban.

### 3.3 Rancangan Alat

Rancangan alat ini terdiri dari tiga macam, yaitu rancangan alat secara mekanik, elektronik, dan *software*.

#### 3.3.1 Mekanik

##### A. Kerangka *Greenhouse*

Kerangka *greenhouse* merupakan sebuah kerangka yang terbuat dari kayu serta papan triplek sebagai alas dan tempat *power supply* diletakkan nantinya. Salah satu sisi dari *greenhouse* dapat dibuka dan ditutup yang berguna untuk mengeluarkan dan memasukkan tanaman serta untuk kegunaan lainnya.

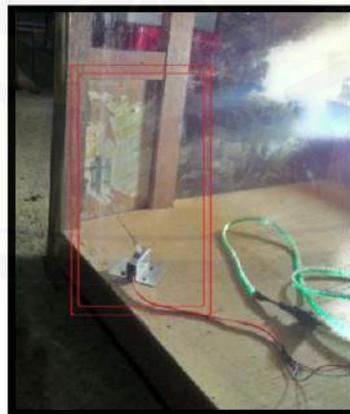


**Gambar 3.1** Kerangka *Greenhouse*

Jika dilihat dari gambar, pada bagian sisi kiri terdapat sisi yang sengaja diberi tambahan kayu. Penambahan kayu yang berbentuk kotak kecil di sini bertujuan sebagai lubang jendela yang nantinya dikendalikan oleh motor servo. Sebuah ruangan kecil yang terdapat di pojok kanan atas, ruangan ini digunakan sebagai tempat meletakkan rangkaian elektronika seperti arduino, IC ULN2803A, *relay*, LCD, serta komponen elektronik lainnya.

### **B. Jendela *Greenhouse***

Jendela *greenhouse* merupakan rancangan mekanik yang terbuat dari papan sebagai daun jendelanya serta jaring kawat yang diletakkan di luar jendela yang berfungsi untuk meminimalkan hama yang dapat masuk ke dalam *greenhouse*.



**Gambar 3.2** Jendela *Greenhouse*

Selain itu juga terdapat kawat yang dikaitkan pada daun jendela lalu dihubungkan dengan putaran motor servo. Hal ini merupakan sistem kerja buka

tutup jendela dengan menggunakan motor servo yang akan menarik dan mendorong jendela dengan bantuan kawat.

### C. Selang Penyiraman Air

Untuk menjaga tanaman kedelai tetap mendapatkan air, dibuat sebuah saluran penyiraman air menggunakan pompa air mini yang biasa dibuat untuk aquarium serta selang untuk menyalurkan air dari bak air menuju tanaman kedelai yang berada di dalam *greenhouse*.



Gambar 3.3 Selang penyiraman air

## 3.3.2 Elektronika

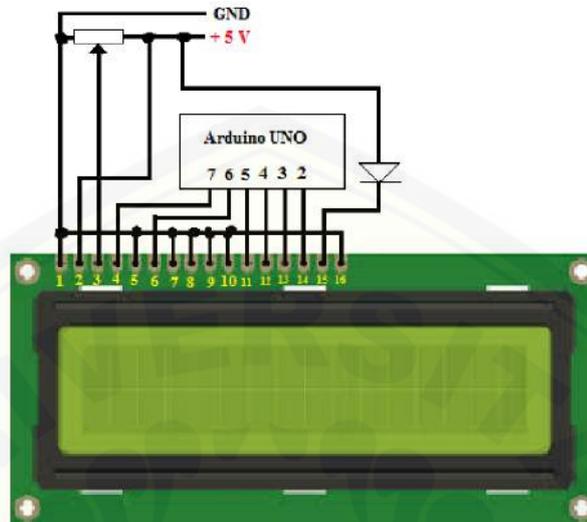
### A. Sensor SHT 11

Pada sensor ini memiliki 6 *pin* yaitu 2 *pin* untuk sumber +5V, 2 *pin* untuk sumber *ground*, 1 *pin* untuk *clock*, dan 1 *pin* untuk data. *Pin* sensor ini kemudian dihubungkan ke arduino yaitu sumber +5V dan *ground* yang sudah ada di arduino. Sementara *pin* data dari sensor dihubungkan ke *pin* 10 arduino dan *clock* ke *pin* 11 arduino. *Output* terkalibrasi secara langsung dari pabrik. Sehingga penggunaan sensor ini bisa langsung dimasukkan ke mikrokontroler atau arduino.

### B. Liquid Crystal Display (LCD)

LCD yang dipakai pada penelitian ini menggunakan LCD 16x2 yang mempunyai 16 *pin*, berturut-turut fungsi dari *pin-pin* tersebut yaitu: Vss, Vdd, Vo, RS, RW, E, D0, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, A, dan K.

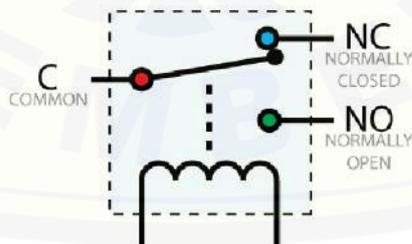
Berikut merupakan gambar dari LCD yang sudah dihubungkan potensio, dioda, dan arduino.



**Gambar 3.4** LCD dengan komponen pendukung (sumber: <http://blog.electrotec.pe/blog/CalcuBasica> )

### C. Relay

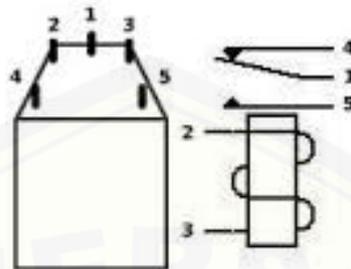
Relay yang dipakai pada alat ini yaitu relay 12 volt dengan 5 kaki (SPDT). Relay SPDT (*Single-Pole Dual-Totem*) yang berarti memiliki sebuah kontak NO dan sebuah kontak NC dengan sebuah *COMMON*. Pada saat kumparan tidak dialiri arus, maka kontak NC akan terhubung dengan COM. Jika kumparan dialiri arus, maka kontak akan bergerak dari NC ke NO, sehingga NO akan terhubung dengan COM.



**Gambar 3.5** skematik relay (sumber: <http://mitrabaterai.blogspot.co.id/2012/09/cara-gratis-modifikasi-kiprok-standar.html> )

Koil relay ini akan dihubungkan ke tegangan 12 volt agar dapat bekerja , sesuai dengan spesifikasi relay yaitu tegangan koil 12 volt dan kapasitas output

maksimal yaitu 10 Ampere 250 VAC atau 10 Ampere 30 VDC. Maksud dari pernyataan di atas yaitu *relay* ini dapat dilalui listrik dengan tegangan dan arus maksimal 250 VAC 10 Ampere, atau 30 VDC 10 Ampere.



Gambar 3.6 Kaki-kaki *relay*

(sumber: <http://sulhansetiawan.atwebpages.com/pengaman-sepeda-motor-dg-sensor-sentuh> )

Tabel 3.1 Kondisi *relay* untuk beban

No.	Relay	Spesifikasi Relay	Beban (Aktuator)	Spesifikasi Beban	Kondisi
1	Relay 1	10 A 250 VAC 10 A 30 VDC	FAN 12 VDC	0.17 A 12 VDC	AMAN
2	Relay 2		FAN 220 VAC	0.14 A 220 VAC	AMAN
3	Relay 3		FAN 220 VAC		AMAN
4	Relay 4		HAIR DRYER	350 WATT	AMAN
5	Relay 5		HAIR DRYER		AMAN
6	Relay 6		PELTIER	6A 12 VDC	AMAN
7	Relay 7		PELTIER		AMAN

Perhitungan :

Pada *hair dryer* belum diketahui besar arus yang mengalir, tapi sudah diketahui daya dan tegangannya yaitu sebesar 350 WATT dan 220 VAC.

$$P = 350, \text{ dan } V = 220$$

$$P = V * I \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana I adalah besar arus yang mengalir ( Ampere)

$$P = V * I$$

$$I = \frac{P}{V}$$

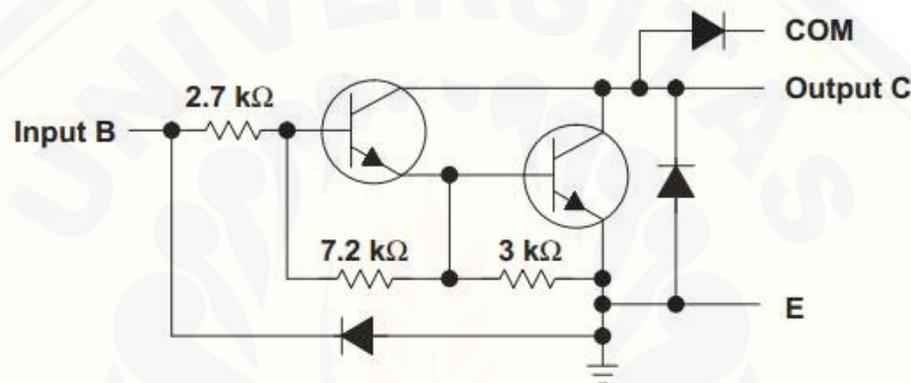
$$I = \frac{350}{220}$$

$$= 1.59 \text{ Ampere}$$

#### D. Driver Relay (IC ULN2803A)

Untuk menggerakkan *relay*, daya (arus/tegangan) dari *microcontroller* kurang mencukupi sehingga perlu penguat (*driver*). *Driver relay* yang paling sederhana biasanya terdiri dari sebuah transistor. Tapi agar mendapatkan arus yang lebih besar dapat digunakan 2 buah transistor bipolar yang dihubungkan secara seri yang bertujuan untuk meningkatkan arus.

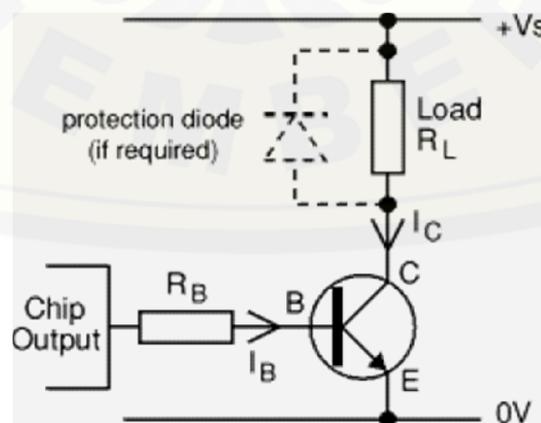
*Driver relay* pada alat ini menggunakan IC ULN2803A. IC ini terdiri dari 8 buah transistor darlington. Berikut skematik dari setiap transistor darlington.



**Gambar 3.7** Skematik transistor darlington

(sumber: <http://elektrologi.kabarkita.org/esp8266-sebagai-pengendali-relay-5-v/> )

Dari gambar skematik transistor darlington dapat dijabarkan lagi menjadi bagian yang paling dasar dari sebuah penguatan yaitu dengan menggunakan transistor beserta penghitungannya.



**Gambar 3.8** Penguat dengan 1 transistor

(sumber: <http://elektrologi.kabarkita.org/esp8266-sebagai-pengendali-relay-5-v/> )

*Chip Output* pada gambar tersebut adalah *output* dari Arduino. Pada kasus ini digunakan Arduino UNO, sehingga perlu pengecekan *datasheet* Arduino UNO untuk mengetahui sifat tegangan dan arus pada *pin output* Arduino UNO tersebut.

*Output HIGH* pada *pin output* arduino yaitu 5 volt. *Output LOW* pada *pin output* Arduino yaitu 0 volt. Transistor ini hanya mempunyai 2 kondisi yaitu *off* dan saturasi. Jika *output* Arduino *LOW*, maka transistor *off*. Jika *output* Arduino *HIGH*, maka transistor saturasi.

#### 1) Analisa *Output LOW*

Jika *output LOW*, maka tegangan pada transistor antara basis dan emitor ( $V_{be}$ ) adalah *output LOW* Arduino yaitu 0 volt. Tegangan ini kurang dari  $V_{be}$  yang diperlukan untuk mengaktifkan transistor (0.7 volt). Sehingga transistor dalam keadaan *off*.

#### 2) Analisa *Output HIGH*

Jika *output HIGH* maka tegangan pada transistor antara basis dan emitor ( $V_{be}$ ) adalah *output* dari Arduino yaitu 5 volt dikurangi tegangan jatuh pada  $R_b$ . Dan agar transistor *ON* maka  $V_{be}$  harus lebih besar dari 0.7 volt.

Tegangan jatuh pada  $R_b$

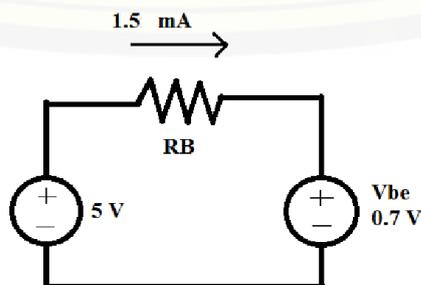
$$(V_{rb}) = R_b * I_b \dots\dots\dots(3.2)$$

Menentukan besarnya  $I_b$ , yaitu dibawah  $I_{max}$  Arduino.

$$I_{max} \text{ Arduino} = 40 \text{ mA}$$

$$\text{Asumsikan } I_b = 1.5 \text{ mA}$$

Dengan asumsi ini sehingga rangkaian pengganti pada *output HIGH* adalah sbb:



**Gambar 3.9** Rangkaian pengganti

5 V : *output* Arduino pada keadaan *HIGH*.

Rb : resistor antara *output* Arduino dengan transistor.

Vbe : tegangan antara basis dan emitor

Dari data tersebut maka dapat dihitung besarnya Rb yang diperlukan.

$$5 = I_b * R_b + V_{be} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$5 = 1.5 * 10^{-3} * R_b + 0.7$$

$$1.5 * 10^{-3} * R_b = 5 - 0.7$$

$$1.5 * 10^{-3} * R_b = 4.3$$

$$R_b = 4.3 / (1.5 * 10^{-3})$$

$$R_b = 2.867 * 10^3$$

$$R_b = 2.867 \text{ KOhm}$$

Nilai Rb yang diperlukan adalah 2867 ohm. Resistor 2867 ohm tidak ada di pasaran, jadi dapat diganti 2700 ohm atau 3000 ohm. Tapi juga harus dihitung ulang arus basis Ib pada kedua alternatif itu.

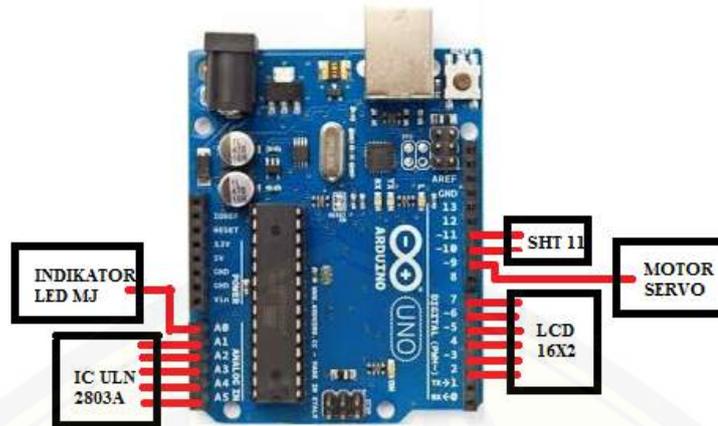
$$\text{Jika } R_b \text{ 2700, } I_b = (5 - 0.7) / 2700 = 1.59 \text{ mA}$$

$$\text{Jika } R_b \text{ 3000, } I_b = (5 - 0.7) / 3000 = 1.43 \text{ mA}$$

Dipilih Rb = 2700 ohm dengan Ib = 1.59 mA lebih besar sedikit dari target 1.5 mA, tapi masih jauh di bawah batas 40 mA serta tidak terlalu kecil.

### E. Arduino UNO

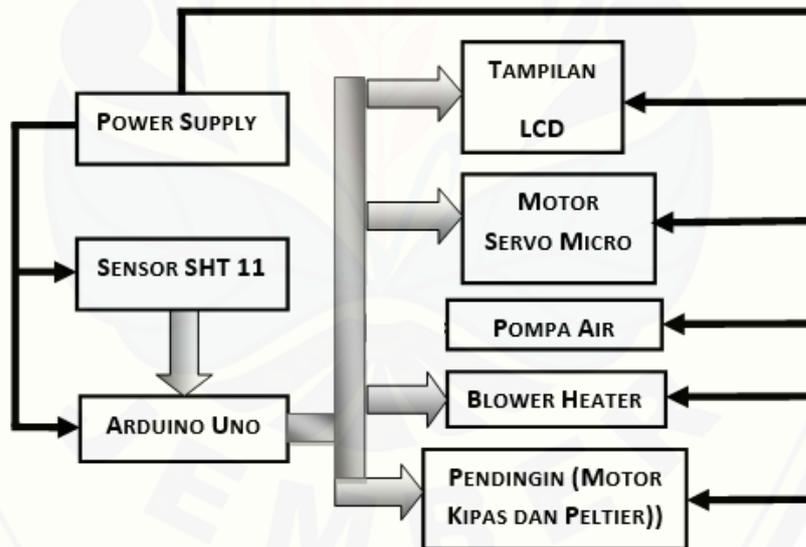
Pada Arduino kali ini, tidak semua *pin* digunakan untuk alat ini. Alat ini hanya menggunakan 5 *pin* untuk IC ULN2803A, 2 *pin* untuk sensor SHT 11, 1 *pin* untuk indikator LED motor servo, 1 *pin* untuk motor servo, dan 6 *pin* untuk LCD 16x2, serta *pin* sumber yaitu + 5 VDC dan *ground*. Untuk lebih jelasnya berikut gambar koneksi Arduino dengan beberapa komponen lainnya.



**Gambar 3.10** Koneksi Arduino dengan komponen lain  
(sumber: <http://www.intorobotics.com/arduino-uno-setup-and-programming-tutorials/> )

### 3.3.3 Software

#### A. Diagram Blok

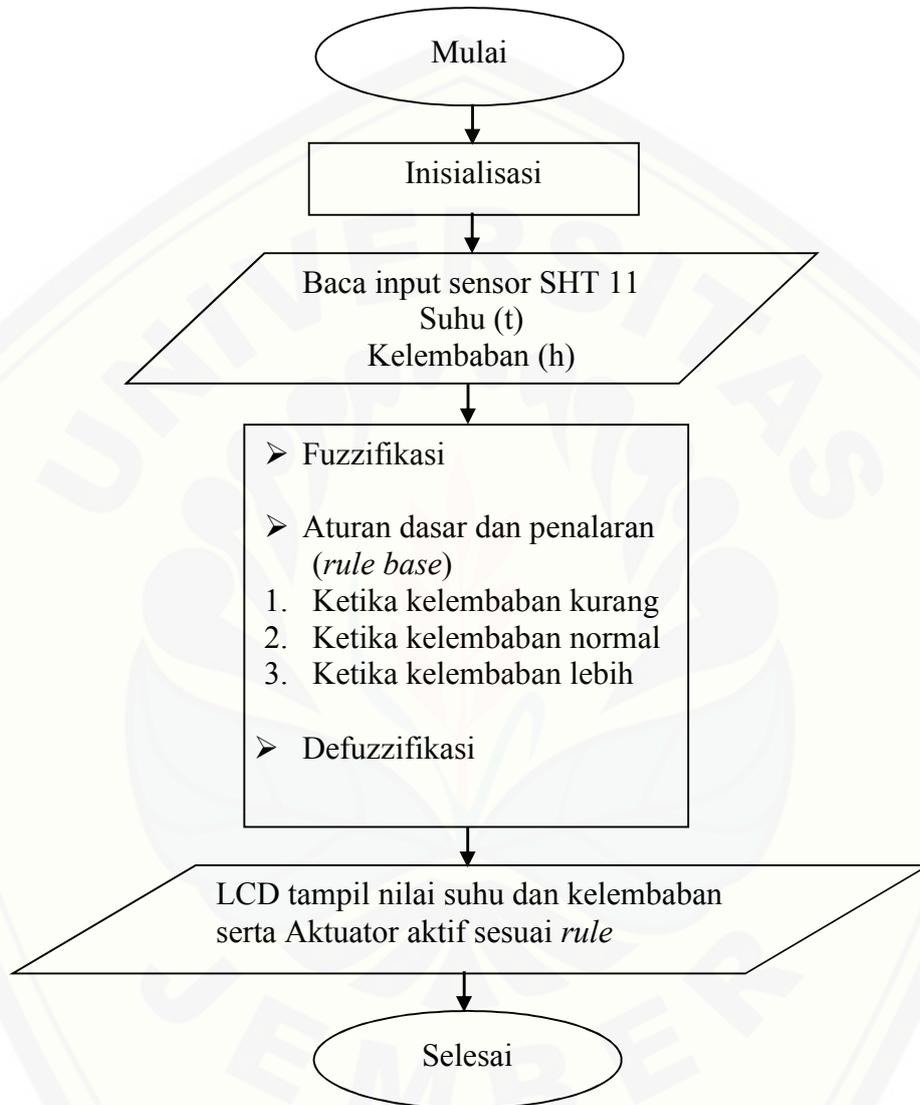


**Gambar 3.11** Diagram blok sistem

Diagram di atas menunjukkan bahwa proses dimulai dari pembacaan sensor SHT 11. Kemudian data dari sensor dikirim menuju mikrokontroler (Arduino Uno) yang kemudian diproses di Arduino Uno. Hasil dari pemrosesan (*Fuzzy Logic*), digunakan untuk mengontrol rangkaian pendingin, motor servo mikro, dan *blower heater*. Selain itu data sensor juga akan ditampilkan di *LCD*. Dari diagram blok di

atas juga dapat diketahui bahwa sensor, Arduino, dan semua aktuatornya memerlukan sumber listrik untuk menjalankannya yaitu *power supply*.

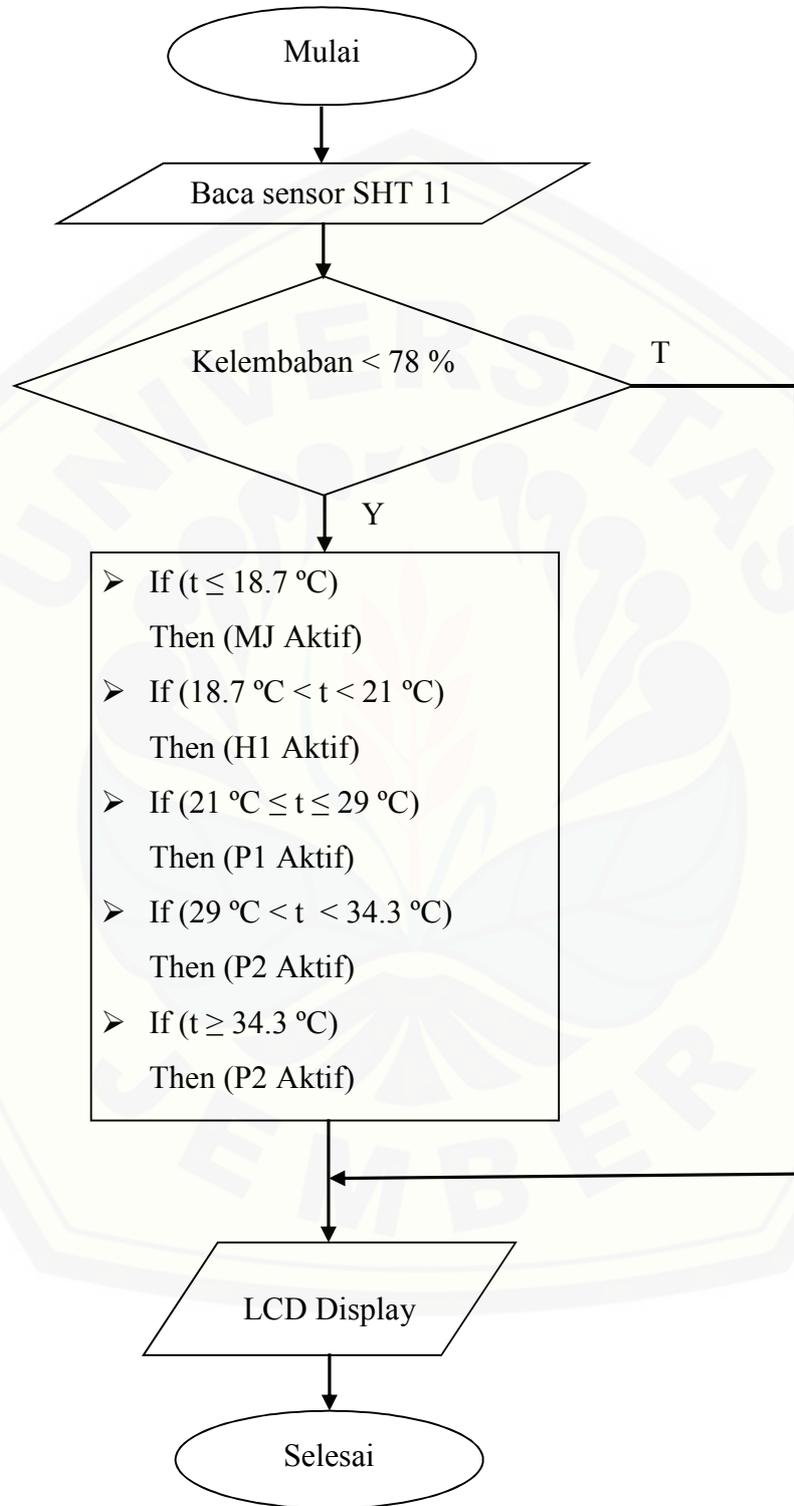
### B. Flowchart



**Gambar 3.12** Diagram alir program utama

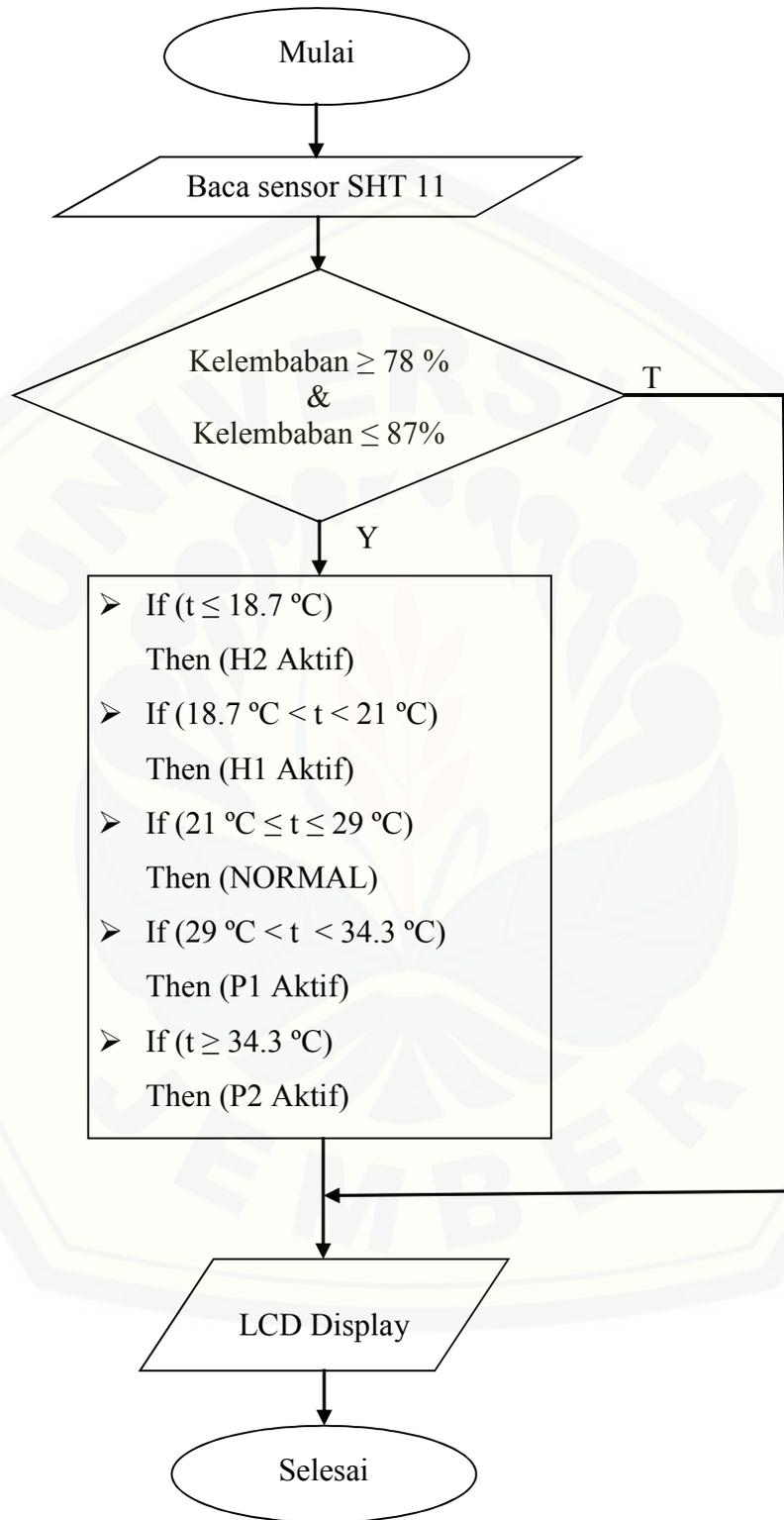
Diagram alir program utama merupakan diagram yang menjelaskan mengenai program secara keseluruhan. Di dalam diagram alir program utama ini terdapat tiga buah proses yang masing-masing proses akan dijelaskan pada diagram alir selanjutnya yang lebih spesifik. Tiga proses tersebut yaitu proses ketika kelembaban kurang, proses ketika kelembaban normal, dan proses ketika kelembaban lebih.

1. Diagram Alir Ketika Kelembaban Kurang (kelembaban < 78%)



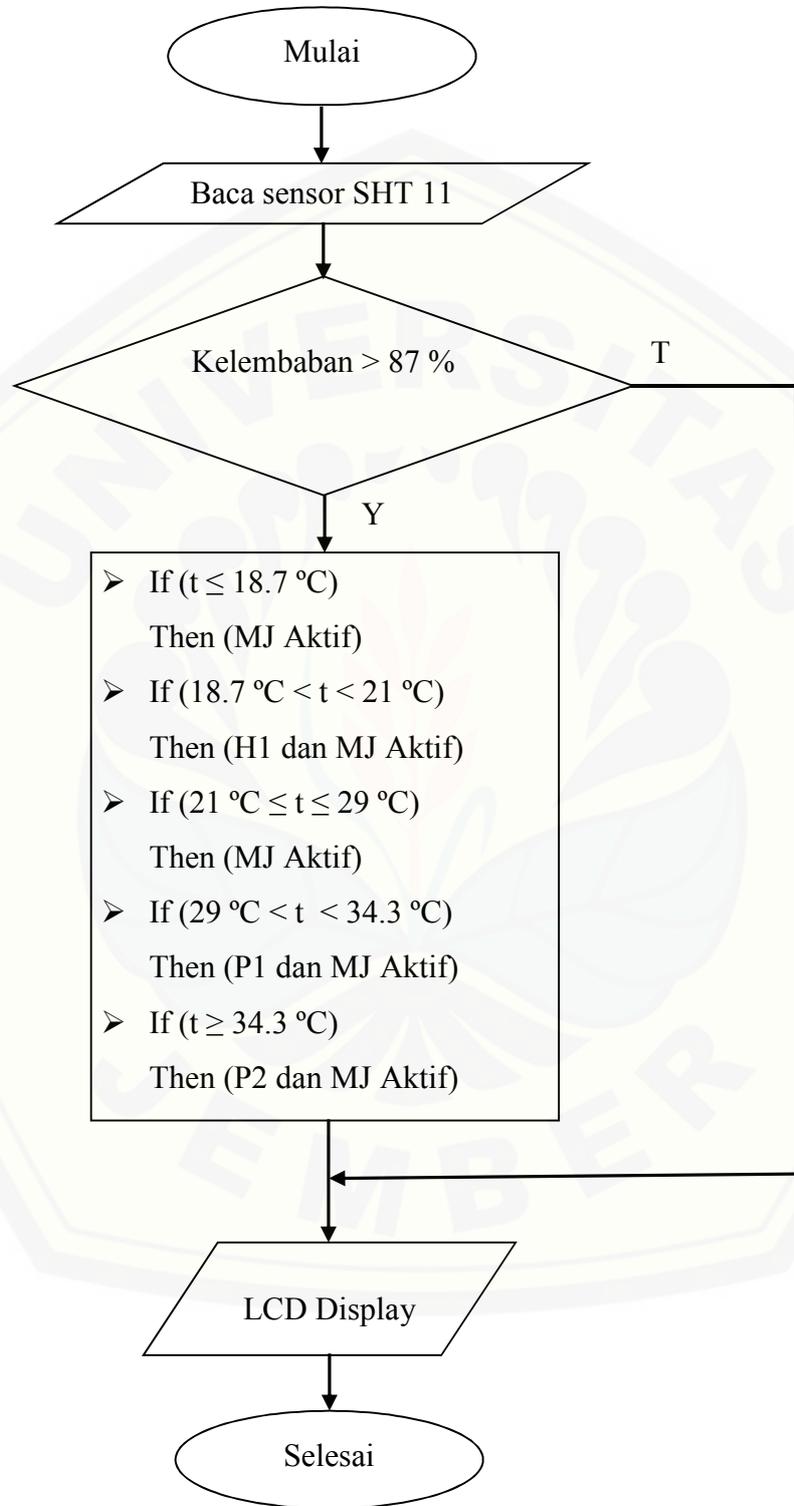
Gambar 3.13 Diagram alir program kelembaban kurang

2. Diagram Alir Ketika Kelembaban Normal ( $78\% \leq \text{kelembaban} \leq 87\%$ )



Gambar 3.14 Diagram alir program kelembaban normal

3. Diagram Alir Ketika Kelembaban Lebih (kelembaban > 87%)



Gambar 3.15 Diagram alir program kelembaban lebih

### Penjelasan Tiga Proses Diagram Alir Program:

1. Diagram alir ketika kelembaban kurang merupakan sebuah proses yang terjadi ketika kelembaban kurang dan mempunyai lima kondisi suhu yang berbeda-beda. Lima kondisi suhu tersebut yaitu sangat rendah, rendah, normal, tinggi, dan sangat tinggi. Jadi secara garis besar diagram alir ini mempunyai lima macam kondisi *output* yang berbeda yaitu ketika kelembaban kurang dan suhu sangat rendah, ketika kelembaban kurang dan suhu rendah, ketika kelembaban kurang dan suhu normal, ketika kelembaban kurang dan suhu tinggi, dan ketika kelembaban kurang dan suhu sangat tinggi. Sedangkan kelima *output* tersebut berturut-turut yaitu motor jendela aktif dan LCD tampil mototr jendela, *heater* 1 aktif dan LCD tampil *heater* 1, pendingin 1 aktif dan LCD tampil pendingin 1, pendingin penuh aktif dan LCD tampil pendingin penuh, serta pendingin penuh aktif dan LCD tampil pendingin penuh.
2. Diagram alir ketika kelembaban normal merupakan sebuah proses yang terjadi ketika kelembaban normal dan mempunyai lima kondisi suhu yang berbeda-beda. Lima kondisi suhu tersebut yaitu sangat rendah, rendah, normal, tinggi, dan sangat tinggi. Jadi secara garis besar diagram alir ini mempunyai lima macam kondisi *output* yang berbeda yaitu ketika kelembaban normal dan suhu sangat rendah, ketika kelembaban normal dan suhu rendah, ketika kelembaban normal dan suhu normal, ketika kelembaban normal dan suhu tinggi, serta ketika kelembaban normal dan suhu sangat tinggi. Sedangkan kelima *output* tersebut berturut-turut yaitu *heater* penuh aktif dan LCD tampil *heater* penuh, *heater* 1 aktif dan LCD tampil *heater* 1, LCD tampil N-O-R-M-A-L, pendingin 1 aktif dan LCD tampil pendingin 1, serta pendingin penuh aktif dan LCD tampil pendingin penuh.
3. Diagram alir ketika kelembaban lebih merupakan sebuah proses yang terjadi ketika kelembaban lebih dan mempunyai lima kondisi suhu yang berbeda-beda. Lima kondisi suhu tersebut yaitu sangat rendah, rendah, normal, tinggi, dan sangat tinggi. Jadi secara garis besar diagram alir ini mempunyai lima macam kondisi *output* yang berbeda yaitu ketika kelembaban lebih dan suhu sangat rendah, ketika kelembaban lebih dan suhu rendah, ketika kelembaban lebih dan suhu normal,

ketika kelembaban lebih dan suhu tinggi, dan ketika kelembaban lebih dan suhu sangat tinggi. Sedangkan kelima *output* tersebut berturut-turut yaitu motor jendela aktif dan LCD tampil motor jendela, heater 1 dan motor jendela aktif dan LCD tampil heater 1 dan motor jendela, motor jendela aktif dan LCD tampil motor jendela, pendingin 1 dan motor jendela aktif dan LCD tampil pendingin 1 dan motor jendela, serta pendingin penuh dan motor jendela aktif dan LCD tampil pendingin penuh dan motor jendela.

### C. Metode *Fuzzy Logic*

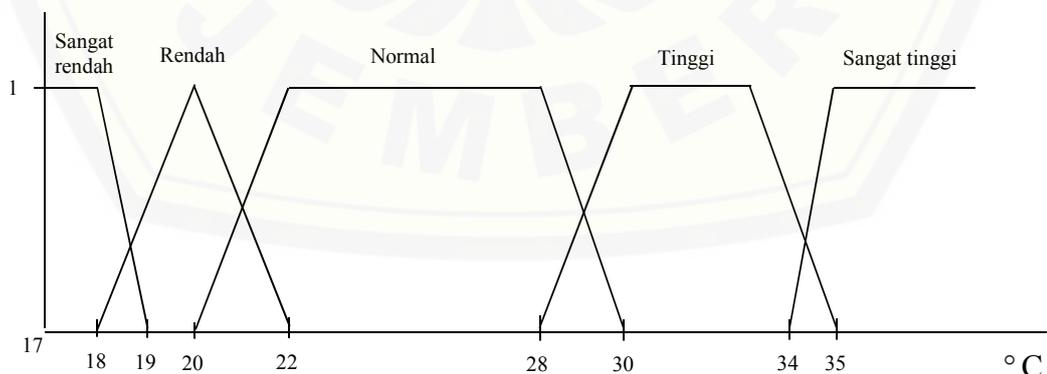
Permasalahan pada tugas akhir ini akan disederhanakan hanya menggunakan dua *input* yaitu:

- 1) Suhu dalam *greenhouse*
- 2) Kelembaban dalam *greenhouse*

#### 1. Variabel Suhu

Pada *input* suhu akan dibagi menjadi lima macam yaitu sebagai berikut:

- a) Suhu sangat rendah (SR) ( $\text{suhu} \leq 19 \text{ } ^\circ\text{C}$ )
- b) Suhu rendah (R) ( $18 \text{ } ^\circ\text{C} < \text{suhu} < 22 \text{ } ^\circ\text{C}$ )
- c) Suhu normal (N) ( $20 \text{ } ^\circ\text{C} \leq \text{suhu} \leq 30 \text{ } ^\circ\text{C}$ )
- d) Suhu tinggi (T) ( $28 \text{ } ^\circ\text{C} < \text{suhu} < 35 \text{ } ^\circ\text{C}$ )
- e) Suhu sangat tinggi (ST) ( $\text{suhu} \geq 34 \text{ } ^\circ\text{C}$ )



**Gambar 3.16** Fungsi keanggotaan pada suhu

a) Fungsi Keanggotaan Himpunan Sangat Rendah ( $\mu_{SR}$ )

$$\mu [SR] = \begin{cases} 1; & SR \leq 18 \\ (19 - SR) / (19-18); & 18 < SR < 19 \\ 0; & SR \geq 19 \end{cases} \dots\dots\dots(3.4)$$

Syarat :  $SR \leq 19$

Contoh:

Suhu yang muncul sangat rendah yaitu 18 °C.

SR = 18, jadi derajat keanggotaannya ( $\mu_{SR}$ ) sebesar 1.

b) Fungsi Keanggotaan Himpunan Rendah ( $\mu_R$ )

$$\mu [R] = \begin{cases} 0; & R \leq 18 \text{ atau } R \geq 22 \\ (R-18) / (20-18); & 18 < R \leq 20 \\ (22-R) / (22-20); & 20 < R < 22 \end{cases} \dots\dots\dots(3.5)$$

Syarat :  $18 \leq R \leq 22$

Contoh:

Suhu yang muncul rendah yaitu 19 °C.

R = 19

$$\begin{aligned} \mu_R &= (R-18) / (20-18) \\ &= (19-18) / 2 \\ &= \frac{1}{2} = 0.5 \end{aligned}$$

jadi derajat keanggotaannya ( $\mu_R$ ) sebesar 0.5

c) Fungsi Keanggotaan Himpunan Normal ( $\mu_N$ )

$$\mu [N] = \begin{cases} 0; & N \leq 20 \text{ atau } N \geq 30 \\ (N-20) / (22-20); & 20 < N < 22 \\ 1; & 22 \leq N \leq 28 \\ (30-N) / (30-28); & 28 < N < 30 \end{cases} \dots\dots\dots(3.6)$$

Syarat :  $20 \leq N \leq 30$

Contoh:

Suhu yang muncul normal yaitu 29.5 °C.

$$N = 29.5$$

$$\begin{aligned} \mu N &= (30-N) / (30-28) \\ &= (30-29.5) / 2 \\ &= 0.5/2 = 0.25 \end{aligned}$$

jadi derajat keanggotaannya ( $\mu N$ ) sebesar 0.25

d) Fungsi Keanggotaan Himpunan Normal ( $\mu T$ )

$$\mu [T] = \begin{cases} 0; & N \leq 28 \text{ atau } N \geq 35 \\ (N-28) / (30-28); & 28 < N < 30 \\ 1; & 30 \leq N \leq 33 \\ (35-T) / (35-33); & 33 < N < 35 \end{cases} \dots\dots\dots(3.7)$$

Syarat :  $28 \leq N \leq 35$

Contoh:

Suhu yang muncul tinggi yaitu 29.5 °C.

$$T = 29.5$$

$$\begin{aligned} \mu N &= (29.5-28) / (30-28) \\ &= (29.5-28) / 2 \\ &= 1.5/2 = 0.75 \end{aligned}$$

jadi derajat keanggotaannya ( $\mu T$ ) sebesar 0.75

e) Fungsi Keanggotaan Himpunan Sangat Tinggi ( $\mu ST$ )

$$\mu [ST] = \begin{cases} 0; & ST \leq 34 \\ (ST-34) / (35-34); & 34 < ST < 35 \\ 1; & ST \geq 35 \end{cases} \dots\dots\dots(3.8)$$

Syarat :  $ST \geq 34$

Contoh:

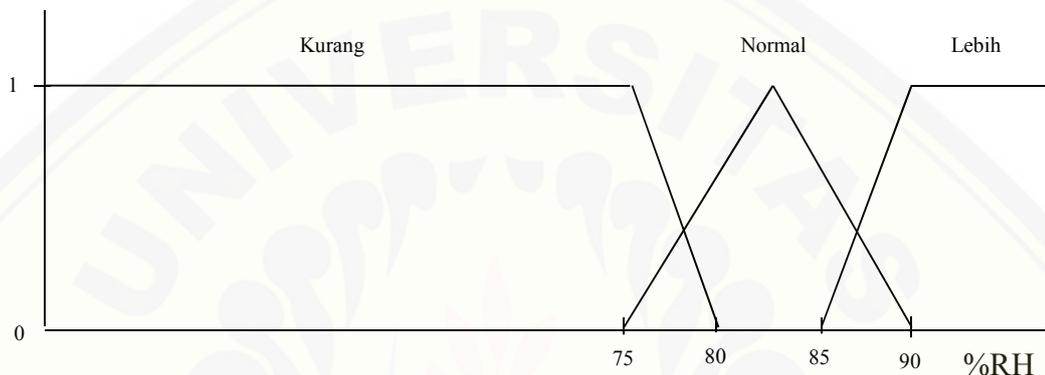
Suhu yang muncul sangat tinggi yaitu 34 °C.

ST = 34, jadi derajat keanggotaannya ( $\mu ST$ ) sebesar 0.

2. Variabel Kelembaban

Sedangkan pada *input* kelembaban akan dibagi menjadi tiga macam golongan yaitu sebagai berikut:

- a) Kelembaban kurang (KK) (kelembaban < 80 %)
- b) Kelembaban normal (KN) (75 % ≤ kelembaban ≤ 90 %)
- c) Kelembaban lebih (KL) (kelembaban > 85 %)



Gambar 3.17 Fungsi keanggotaan pada kelembaban

a) Fungsi Keanggotaan Himpunan Kurang (  $\mu_K$  )

$$\mu [K] = \begin{cases} 1; & K \leq 75 \\ (80 - K) / (80-75); & 75 < K < 80 \\ 0; & K \geq 80 \end{cases} \dots\dots\dots(3.9)$$

Syarat :  $K \leq 80$

Contoh:

Kelembaban yang muncul kurang yaitu 80 %

$K = 80$ , jadi derajat keanggotaannya (  $\mu_K$  ) sebesar 0.

b) Fungsi Keanggotaan Himpunan Normal (  $\mu_N$  )

$$\mu [N] = \begin{cases} 0; & N \leq 75 \text{ atau } N \geq 90 \\ (N-75) / (82.5-75); & 75 < N \leq 82.5 \\ (90-N) / (90-82.5); & 90 < N < 82.5 \end{cases} \dots\dots\dots(3.10)$$

Syarat :  $75 \leq N \leq 90$

Contoh:

Kelembaban yang muncul normal yaitu 78 %.

$$N = 78$$

$$\begin{aligned}\mu_N &= (N-75) / (82.5-75) \\ &= (78-75) / 7.5 \\ &= 3/7.5 = 0.4\end{aligned}$$

jadi derajat keanggotaannya ( $\mu_N$ ) sebesar 0.4

c) Fungsi Keanggotaan Himpunan Lebih ( $\mu_L$ )

$$\mu [L] = \begin{cases} 0; & L \leq 85 \\ (L-85) / (90-85); & 85 < L < 90 \\ 1; & L \geq 90 \end{cases} \dots\dots\dots(3.11)$$

Syarat :  $L \geq 85$

Contoh:

Kelembaban yang muncul lebih yaitu 88 %.

$$L = 88$$

$$\begin{aligned}\mu_L &= (L-85) / (90-85) \\ &= (88-85) / 5 \\ &= 3/5 = 0.6\end{aligned}$$

jadi derajat keanggotaannya ( $\mu_L$ ) sebesar 0.6

Selain menggolongkan *input*, diperlukan juga untuk menggolongkan *output*. Berikut macam-macam penggolongan *output*:

- a) *Heater* biasa (H1)
- b) *Heater* penuh (H2)
- c) Pendingin biasa (P1)
- d) Pendingin penuh (P2)
- e) Motor jendela (MJ)
- f) *Heater* biasa dan motor jendela (H1+MJ)
- g) Pendingin biasa dan motor jendela (P1+MJ)
- h) Pendingin penuh dan motor jendela (P2+ MJ)

Dari beberapa data *input* yang didapat, maka dibuat suatu aturan atau *rule-rule* yang akan menghasilkan keputusan dari *fuzzy controller*. Keputusan ini nantinya yang akan berperan sebagai *output*. Dasarnya *rule-rule* ini adalah sebuah

*rule if-and-then* yang mudah dimengerti karena hanya merupakan kata-kata. Terdapat 15 *rule* yang menghasilkan *output*, yaitu:

- 1) *If* suhu *is* sangat rendah *and* kelembaban *is* kurang *then* motor jendela aktif
- 2) *If* suhu *is* sangat rendah *and* kelembaban *is* normal *then* heater penuh aktif
- 3) *If* suhu *is* sangat rendah *and* kelembaban *is* lebih *then* motor jendela aktif
- 4) *If* suhu *is* rendah *and* kelembaban *is* kurang *then* heater biasa aktif
- 5) *If* suhu *is* rendah *and* kelembaban *is* normal *then* heater biasa aktif
- 6) *If* suhu *is* rendah *and* kelembaban *is* lebih *then* heater biasa dan motor jendela aktif
- 7) *If* suhu *is* normal *and* kelembaban *is* kurang *then* pendingin biasa aktif
- 8) *If* suhu *is* normal *and* kelembaban *is* normal *then* LCD tampil N-O-R-M-A-L
- 9) *If* suhu *is* normal *and* kelembaban *is* lebih *then* motor jendela aktif
- 10) *If* suhu *is* tinggi *and* kelembaban *is* kurang *then* pendingin penuh aktif
- 11) *If* suhu *is* tinggi *and* kelembaban *is* normal *then* pendingin biasa aktif
- 12) *If* suhu *is* tinggi *and* kelembaban *is* lebih *then* pendingin biasa dan motor jendela aktif
- 13) *If* suhu *is* sangat tinggi *and* kelembaban *is* kurang *then* pendingin penuh aktif
- 14) *If* suhu *is* sangat tinggi *and* kelembaban *is* normal *then* pendingin penuh aktif
- 15) *If* suhu *is* sangat tinggi *and* kelembaban *is* lebih *then* pendingin penuh dan motor jendela aktif

Tabel 3.2 Kumpulan *rule*

INPUT		KELEMBABAN		
		KURANG	NORMAL	LEBIH
SUHU	SANGAT RENDAH	MJ	H2	MJ
	RENDAH	H1	H1	H1 +MJ
	NORMAL	P1	NORMAL	MJ
	TINGGI	P2	P1	P1+MJ
	SANGAT TINGGI	P2	P2	P2+MJ
		OUTPUT		