

PENERAPAN LOGIKA FUZZY PADA SISTEM PENYIRAMAN TANAMAN OTOMATIS BERBASIS MIKROKONTROLER

^[1]Tulus Pranata, ^[2]Beni Irawan, ^[3]Ilhamsyah

^{[1][2][3]}Jurusan Sistem Komputer, Fakultas MIPA Universitas Tanjungpura
Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak
Telp./Fax.: (0561) 577963

e-mail:

^[1]tuluss.pranata@gmail.com, ^[2]benicsc@siskom.untan.ac.id,
^[3]ilhamsm99@gmail.com

Abstrak

Suhu udara dan kelembaban tanah merupakan parameter yang mempengaruhi jumlah air yang dibutuhkan tanaman dalam proses penyiraman. Selain kebutuhan air, waktu penyiraman juga harus diperhatikan dan disesuaikan dengan kebutuhan tanaman. Untuk itu diperlukan perancangan sistem kendali yang mampu membuat keputusan pengendalian dalam mengatasi masalah penyiraman agar kebutuhan tanaman akan air tercukupi sesuai kebutuhan dan bekerja secara terjadwal. Logika fuzzy merupakan salah satu metode yang dapat digunakan pada sistem kendali agar dapat memberikan keputusan yang menyerupai keputusan manusia, karena memiliki konsep yang mudah dimengerti dan didasarkan pada bahasa alami. Penelitian ini, menggunakan pengembangan sistem kendali logika fuzzy metode Sugeno yang diintegrasikan dengan mikrokontroler sebagai pengendali. Pengujian sistem dilakukan pada tanaman Seledri dengan jadwal penyiraman diatur satu kali sehari pada pukul 17.00 sore menggunakan Real Time Clock. Hasil pengujian menunjukkan, lama waktu penyiraman yang efektif pada kondisi riil untuk mengatasi kebutuhan air tanaman Seledri agar kelembaban tanah terjaga pada kondisi 65%-75% adalah 10 detik dan 14 detik dengan rata-rata keluaran air per detik ± 20 ml. Sistem inferensi fuzzy yang dirancang dapat dikatakan sudah mampu mengatasi masalah penyiraman pada tanaman khususnya tanaman Seledri, dimana hasil pengujian menunjukkan nilai rata-rata kelembaban tanah setelah penyiraman dapat dijaga pada kondisi 73,93%.

Kata kunci: Logika fuzzy, Mikrokontroler, Suhu udara, Kelembaban tanah

1. PENDAHULUAN

Penyiraman tanaman berhubungan erat dengan kebutuhan air tanaman. Semua tanaman membutuhkan air untuk bertahan hidup, tetapi kadarnya berbeda-beda. Hal ini tentu saja akan mempengaruhi frekuensi dan kuantitas penyiramannya. Jika ditanam di dalam pot, tanaman yang sama (jenis dan umurnya) akan membutuhkan frekuensi penyiraman yang lebih sering dibandingkan bila tumbuh langsung di tanah. Namun, kuantitas atau banyaknya air justru lebih sedikit. Waktu penyiraman juga harus diperhatikan, karena waktu yang baik untuk melakukan penyiraman adalah pada saat

pagi hari sebelum pukul 10.00 atau sore hari setelah pukul 17.00 [1]. Jadwal penyiraman juga perlu diperhatikan apakah satu kali sehari, dua kali sehari, sesuai dengan kebutuhan masing-masing tanaman. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pengendalian khusus untuk melakukan penyiraman tanaman, sistem yang dapat menentukan keputusan lama proses penyiraman yang dibutuhkan dan bekerja secara terjadwal.

Teknologi yang dapat digunakan untuk dapat menyelesaikan permasalahan ini salah satunya adalah sistem kendali otomatis yang di dalamnya terdapat suatu metode (basis pengetahuan) yang mampu

memberikan keputusan dalam proses penyiraman, agar kebutuhan tanaman akan air tercukupi.

Sofwan pada tahun 2005 menerapkan konsep logika fuzzy pada sistem pengaturan jumlah air berdasarkan suhu dan kelembaban [2]. Wahyujati pada tahun 2010 juga menerapkan metode logika fuzzy untuk pengaturan kelembaban tanah pada tanaman Cabai [3]. Kedua sistem yang telah dibuat sudah dapat berjalan dengan baik untuk mengatasi masalah penyiraman secara otomatis dengan menggunakan konsep logika fuzzy sebagai pengambil keputusan, tetapi dari kedua sistem yang telah dibuat sebelumnya masih belum ada penjadwalan terhadap waktu penyiraman.

Berdasarkan permasalahan tentang jadwal penyiraman, kebutuhan air tanaman, dan untuk pengembangan sistem dari penelitian sebelumnya, akan dilakukan penelitian dan dibuat alat sistem penyiraman tanaman otomatis dengan menerapkan metode logika fuzzy yang terintegrasi dengan mikrokontroler sebagai pengendali dan penambahan komponen *Real Time Clock* sebagai pengatur jadwal penyiraman.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logika Fuzzy

Teori himpunan logika samar dikembangkan oleh Prof. Lotfi Zadeh pada tahun 1965. Zadeh berpendapat bahwa logika benar dan salah dalam logika konvensional tidak dapat mengatasi masalah gradasi yang berada pada dunia nyata. Untuk mengatasi masalah gradasi yang tidak terhingga tersebut, Zadeh mengembangkan sebuah himpunan fuzzy. Tidak seperti logika *boolean*, logika fuzzy mempunyai nilai yang kontinue. Samar dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan derajat dari kebenaran. Oleh sebab itu suatu nilai dapat dikatakan sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama [4].

2.1.1. Himpunan Fuzzy

Dalam teori logika fuzzy dikenal himpunan fuzzy (*fuzzy set*) yang merupakan pengelompokan sesuatu berdasarkan variabel bahasa, yang dinyatakan dalam

fungsi keanggotaan. Himpunan fuzzy memiliki 2 atribut, yaitu [4]:

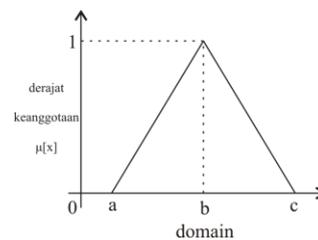
1. Linguistik, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti: Dingin, Normal, Panas.
2. Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel, seperti: 40, 25, 50, dsb.

2.1.2. Fungsi Keanggotaan Logika Fuzzy

Fungsi Keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan [4].

1. Representasi Kurva Segitiga

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (*linear*) seperti terlihat pada gambar 1.



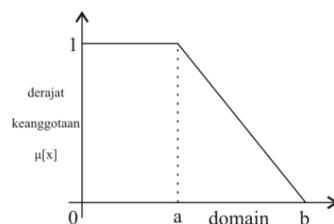
Gambar 1. Kurva Segitiga

Fungsi keanggotaan:

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

2. Representasi Kurva Bentuk Bahu

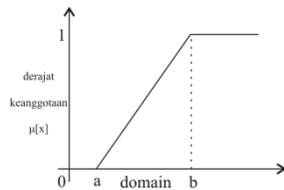
Kurva bahu terbagi dua yaitu, bahu kiri dan bahu kanan. Perhitungan dan fungsi keanggotaan untuk masing-masing kurva dapat dilihat pada gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Kurva Bahu Kiri

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ (b-x)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \quad (2)$$



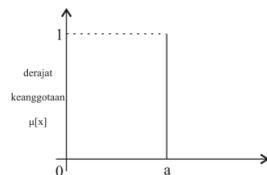
Gambar 3. Kurva Bahu Kanan

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \quad (3)$$

3. Representasi Kurva Singleton

Singleton adalah himpunan fuzzy yang mempunyai pendukung satu titik tunggal (= a) dalam semesta pembicaraan. Konsep ini digambarkan dalam bentuk fungsi keanggotaan yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Kurva Singleton

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 1, & \text{untuk } x = a \\ 0, & \text{untuk } x \neq a \end{cases} \quad (4)$$

2.1.3. Operator Dasar untuk Operasi Himpunan Fuzzy

Seperti halnya himpunan konvensional, ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasikan dan memodifikasi himpunan fuzzy. Nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi 2 himpunan sering dikenal dengan nama *fire strength* atau α -predikat. Ada 3 operator dasar yang diciptakan oleh Zadeh, yaitu [4]:

1. Operator AND

Operator ini berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator AND diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar

elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A[x], \mu_B[y]) \quad (5)$$

2. Operator OR

Operator ini berhubungan dengan operasi *union* pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator OR diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A[x], \mu_B[y]) \quad (6)$$

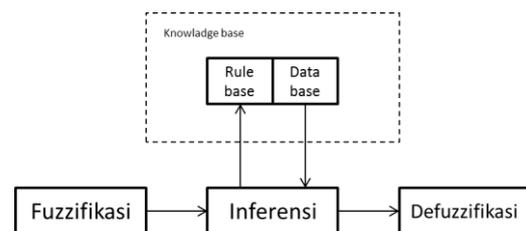
3. Operator NOT

Operator ini berhubungan dengan operasi komplement pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator NOT diperoleh dengan mengurangi nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1.

$$\mu_{A'} = 1 - \mu_A[x] \quad (7)$$

2.1.4. Sistem Inferensi Fuzzy

Struktur dasar sistem pengendalian pada fuzzy, terdiri dari empat komponen atau bagian utama yang sangat penting. Gambar 5 menunjukkan struktur dasar dari sistem inferensi fuzzy, yang terdiri dari fuzzifikasi, basis pengetahuan, inferensi dan defuzzifikasi.



Gambar 5. Struktur Dasar Kontrol Fuzzy

2.1.5. Metode Sugeno

Penalaran dengan metode Sugeno hampir sama dengan penalaran Mamdani, hanya saja *output* (konsekuen) sistem tidak berupa himpunan fuzzy, melainkan berupa konstanta atau persamaan linear. Michio Sugeno mengusulkan penggunaan *singleton* sebagai fungsi keanggotaan dari konsekuen [4]. Metode ini pertama kali diperkenalkan

pada tahun 1985 dan mempunyai bentuk aturan sebagai berikut:

$$IF\ x\ is\ A\ and\ y\ is\ B\ then\ z\ is\ K \quad (8)$$

dimana: x = variabel masukan 1
y = variabel masukan 2
A&B = himpunan fuzzy
Z = variabel keluaran
K = *singleton* pada semesta pembicaraan

Proposisi yang mengikuti *IF* disebut sebagai antesenden sedangkan proposisi yang mengikuti *THEN* disebut konsekuen. Tahapan-tahapan proses inferensi dengan metode Sugeno adalah sebagai berikut:

1. Fuzzifikasi

Tahap ini mengambil nilai-nilai tegas dan menentukan derajat keanggotaan, dimana nilai-nilai tersebut menjadi anggota dari setiap himpunan fuzzy.

2. Inferensi

Inferensi adalah proses transformasi dari suatu *input* dalam domain fuzzy ke suatu *output* (sinyal kendali) dalam domain fuzzy. Proses transformasi pada bagian inferensi membutuhkan aturan-aturan fuzzy yang terdapat di dalam basis-basis aturan. Menggunakan fungsi implikasi min (operator AND).

3. Defuzzifikasi

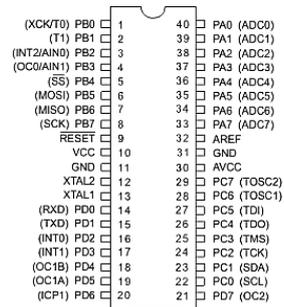
Defuzzifikasi adalah proses pemetaan himpunan fuzzy ke himpunan tegas (*crisp*) berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Model Sugeno menggunakan fungsi keanggotaan *singleton* pada variabel *output* dan menggunakan *height method* dalam penentuan nilai keluaran.

2.2 Mikrokontroler AVR ATmega16

ATmega16 adalah salah satu dari beberapa varian MegaAVR. ATmega16 merupakan mikrokontroler dengan teknik fabrikasi CMOS 8bit berdaya rendah dan memiliki 32 *register general purpose*. ATmega16 memiliki 40 pin DIP (*dual inline package*). Gambar 6 menunjukkan pin-pin pada mikrokontroler.

Untuk menangani komunikasi dengan perangkat keras lainnya, mikrokontroler mempunyai empat buah *port* yaitu *Port A*, *Port B*, *Port C*, dan *Port D*. Keempat buah *port* ini dirancang sebagai jalur *bi-directional* yang dapat me-

ngirimkan sinyal keluaran dan masukan dengan pilihan internal *pull-up* [5].



Gambar 6. Pin ATmega16 (Atmel Corporation, 2009)

Untuk beberapa *port*, masing-masing pin memiliki fungsi alternatif, seperti yang terdapat pada *port A*, *B*, *C* dan *D*, pin tersebut memiliki fungsi lain untuk kegunaan tertentu. Pin-pin tersebut dapat digunakan untuk fungsi yang lain dengan kombinasi pin tertentu seperti untuk menghubungkan mikrokontroler dengan perangkat *downloader*. Pada *port A* terdapat fungsi ADC (*analog to digital converter*) yang berfungsi mengkonversi sinyal analog berupa besaran tegangan listrik menjadi sinyal digital berupa angka desimal. ADC pada ATmega16 memiliki resolusi sebesar 10bit, resolusi ini berfungsi menentukan ketepatan hasil konversi.

2.3 Sensor Suhu LM35

LM35 adalah sensor suhu yang teliti dan terkemas dalam bentuk *Integrated Circuit (IC)*, *output* tegangan keluaran sangat linear terhadap perubahan suhu. Sensor ini berfungsi sebagai pengubah dari besaran fisis suhu ke besaran tegangan yang memiliki koefisien sebesar 10 mV/°C, yang berarti bahwa setiap kenaikan suhu 1°C maka akan terjadi kenaikan tegangan sebesar 10mV.



Gambar 7. Sensor Suhu LM35 (sumber: www.electroschematics.com)

Karakteristik sensor LM35 adalah sebagai berikut:

1. Memiliki sensitivitas suhu, dengan faktor skala linier antara tegangan dan

suhu 10 mV/°C, sehingga dapat dikalibrasi langsung dalam *celcius*.

2. Memiliki ketepatan atau akurasi kalibrasi yaitu 0,5°C pada suhu 25°C.
3. Memiliki jangkauan maksimal operasi suhu antara -55°C sampai +150°C.
4. Bekerja pada tegangan 4 sampai 30 volt.

2.4 Sensor Kelembaban Tanah

Sensor ini terdiri dua probe untuk melewati arus melalui tanah, kemudian membaca resistansinya untuk mendapatkan nilai tingkat kelembaban.



Gambar 8. Sensor Kelembaban Tanah
(Sumber: www.dfrobot.com)

Sensor kelembaban tanah yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan sensor pabrikan buatan DFRobot, dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Tegangan masukan 3,3V atau 5V dan tegangan keluaran 0 ~ 4,2V.
2. Arus kerja 35 mA
3. Rentang nilai 0–300 (tanah kering), 300–700 (tanah lembab), dan 700–950 (tanah basah).

2.5 Real Time Clock (RTC) DS1307

Real Time Clock merupakan suatu *chip* (IC) yang memiliki fungsi sebagai penyimpan waktu dan tanggal. DS1307 merupakan *Real Time Clock* yang dapat menyimpan data-data detik, menit, jam, tanggal, bulan, hari dalam seminggu, dan tahun valid hingga 2100.



Gambar 9. RTC DS1307
(sumber: Maxim Integrated, 2008)

RTC DS1307 merupakan IC dengan jalur data paralel yang memiliki antarmuka serial *two-wire* (I2C). Komunikasi I2C menggunakan dua buah *port* yaitu, *port Serial Data* (SDA) dan *Serial Clock* (SCL) untuk membaca isi *register* dari RTC. Data

tanggal dan waktu tersimpan di dalam *register* SRAM pada RTC.

2.6 Tanaman Seledri

Seledri (*Apium graveolens L.*) juga dikenal dengan nama daun sop, adalah tanaman sayuran yang juga banyak dipakai sebagai tanaman obat. Pada awal masa pertumbuhan, penyiraman dilakukan 1-2 kali sehari, berikutnya dikurangi menjadi 1 kali sehari pada pagi atau sore hari. Tanah tidak boleh kekeringan atau tergenang air dengan kelembaban tanah sekitar 65%-75% [6].

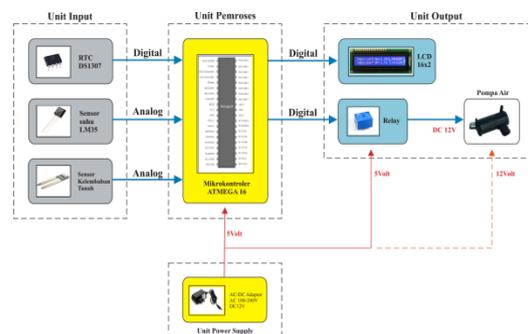
3. METODOLOGI PENELITIAN

Proses penelitian dimulai dengan melakukan studi pustaka terkait dengan teori-teori mikrokontroler, logika fuzzy, sistem kendali, dan teori-teori penunjang lainnya. Selanjutnya dilakukan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak yang kemudian diintegrasikan menjadi suatu sistem sehingga berfungsi sebagaimana mestinya. Selanjutnya melakukan pengujian untuk mengetahui kinerja sistem. Setelah dilakukan pengujian dilakukan analisa untuk mendapatkan kesimpulan akhir dari proses penelitian.

4. PERANCANGAN SISTEM

4.1 Perancangan Perangkat Keras

Diagram blok pada gambar 10 menunjukkan prinsip kerja perangkat keras sistem secara umum.



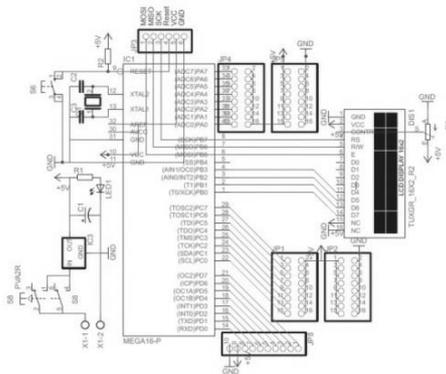
Gambar 10. Diagram Blok Sistem

Terdapat satu buah perangkat pengatur waktu yaitu *Real Time Clock* (RTC), dua buah perangkat masukan yaitu sensor suhu dan sensor kelembaban tanah, serta terdapat dua buah perangkat keluaran yaitu

berupa LCD dan *relay* yang terhubung ke pompa air.

Seluruh perangkat masukan dan keluaran terhubung ke *minimum system* mikrokontroler ATmega16. *Minimum system* terhubung dengan adaptor AC-DC 12Volt yang digunakan sebagai sumber tegangan.

Untuk membuat mikrokontroler dapat bekerja, dibutuhkan rangkaian tambahan yang disebut dengan rangkaian *minimum system*, fungsi rangkaian ini hampir sama seperti papan induk yang terdapat pada komputer.



Gambar 11. Rangkaian Skematik Minimum Sistem Mikrokontroler

Komunikasi perangkat keras menggunakan empat buah *port* I/O yang telah tersedia pada mikrokontroler yaitu *port* A, *port* B, *port* C dan *port* D. Masing-masing *port* akan dikonfigurasi sesuai dengan fungsi yang diperlukan.

1. *Port* A digunakan sebagai *port* masukan untuk menerima sinyal dari sensor suhu dan kelembaban tanah. Penggunaan *port* A untuk sensor dikarenakan fitur *analog to digital converter* (ADC) hanya terdapat pada *port* A. Penelitian ini akan menggunakan masing-masing satu buah sensor suhu dan kelembaban tanah yang terhubung pada dua buah pin *port* A yaitu, A.0 (sensor suhu) dan A.1 (sensor kelembaban tanah).
2. *Port* B dikonfigurasi sebagai *port* keluaran, *port* ini akan dioptimalkan untuk perangkat LCD.
3. *Port* C dikonfigurasi dan digunakan untuk jalur komunikasi mikrokontroler dengan *Real Time Clock*. Pin yang digunakan untuk menghubungkan RTC

yaitu pin C.0 (scl RTC) dan pin C.1 (sda RTC).

4. *Port* D dikonfigurasi sebagai *port* keluaran. Pin yang digunakan untuk menghubungkan *relay* (*relay* terhubung ke pompa air) yaitu pin D.0.

4.2 Perhitungan Waktu Penyiraman

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan dalam melakukan penyiraman agar air yang disiramkan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Hasil perhitungan ini nantinya akan digunakan sebagai keluaran sistem fuzzy yang akan dirancang.

1. Menghitung Debit Air

Pompa air diberi tegangan sebesar 12V, kemudian dihitung keluaran air untuk waktu 3, 5, 7, dan 10 detik, percobaan dilakukan 10 kali untuk mendapatkan nilai keluaran rata-rata.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap keluaran debit air dan perhitungan untuk keluaran air setiap detik, dapat diketahui keluaran rata-rata debit air setiap detiknya adalah 20,075 ml (± 20 ml per detik).

2. Menghitung kenaikan Nilai Kelembaban Tanah

Tahapan ini dimulai dengan menyiapkan 5 buah *polybag* berukuran sama yang diisi tanah (tanah dalam kondisi kering) dengan volume yang kurang lebih sama banyak. Kemudian dilakukan pengukuran kelembaban tanah terhadap masing-masing *polybag*. Selanjutnya masing-masing *polybag* disiram dengan air sebanyak 200 ml (10 detik waktu penyiraman), kemudian dilakukan pengukuran kembali, dan dihitung selisih kenaikan kelembaban tanah sebelum dan sesudah disiram.

Berdasarkan hasil pengukuran dan proses perhitungan, didapatkan hasil untuk kenaikan kelembaban tanah setiap detik adalah 26,5. Artinya dengan penyiraman 1 detik (± 20 ml air) dapat menaikkan kelembaban tanah dengan nilai sebesar 26,5 (dalam nilai pembacaan sensor).

3. Penentuan Lama Waktu Penyiraman

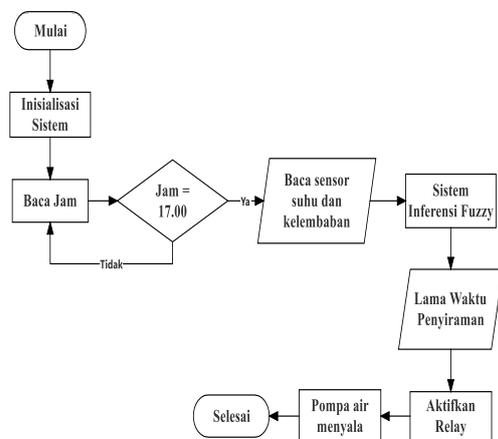
Penentuan lama waktu penyiraman didasarkan pada kebutuhan tanaman

Seledri yang digunakan sebagai tanaman acuan dalam penelitian. Kelembaban tanah normal terletak pada rentang 65%-75% (617 – 712 untuk nilai pembacaan sensor).

Nilai 70% digunakan sebagai nilai batas untuk mengantisipasi kekurangan atau kelebihan air pada saat proses penyiraman. Hasil perhitungan yang didapat dari waktu terlama sampai waktu paling sebentar adalah 25,09 detik, 21,32 detik, 17,55 detik, 13,77 detik, 10 detik, 6,23 detik, dan 2,45 detik. Hasil perhitungan ini nantinya akan digunakan sebagai acuan dalam pembentukan fungsi keanggotaan *output* lama waktu penyiraman dalam sistem inferensi fuzzy yang akan direpresentasikan dengan menggunakan kurva *singleton*.

4.3 Perancangan Perangkat Lunak

Diagram alir pada gambar 12 menunjukkan alur kerja mikrokontroler sesuai dengan perangkat lunak yang akan dirancang.



Gambar 12. Diagram Alir Sistem

Tahapan program dimulai dengan pembacaan waktu dari RTC DS1307, dalam sistem ini waktu untuk melakukan penyiraman telah diatur 1 kali sehari untuk jadwal penyiraman yaitu jam 17.00 sore. Jam digital dalam format jam, menit, detik akan ditampilkan melalui LCD.

Tahapan selanjutnya, saat waktu telah menunjukkan jam 17.00 sore, maka dua perangkat sensor akan aktif untuk melakukan pembacaan sinyal terhadap suhu udara dan kelembaban tanah. Untuk nilai

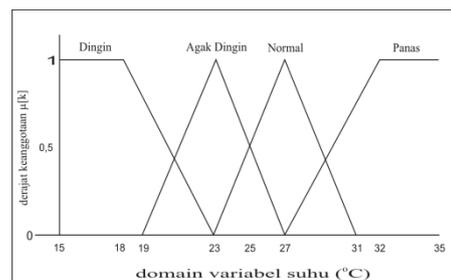
suhu akan dikonversi kedalam satuan derajat *celcius* ($^{\circ}\text{C}$), sementara untuk nilai kelembaban tanah akan tetap dalam satuan angka desimal.

Nilai hasil pembacaan kedua sensor akan dijadikan parameter masukan (*input*) dalam sistem inferensi fuzzy. Sistem fuzzy ini akan memproses dua buah parameter masukan (suhu dan kelembaban tanah) berdasarkan aturan-aturan yang dibuat untuk menghasilkan keluaran (*output*). Keluaran sistem ini berupa lamanya waktu dalam melakukan proses penyiraman.

Selanjutnya dilakukan perancangan sistem inferensi fuzzy. Sistem inferensi fuzzy adalah penarikan kesimpulan dari sekumpulan aturan-aturan fuzzy. Perancangan sistem inferensi fuzzy memiliki empat bagian utama dalam pembuatan struktur dasar sistem kendali logika fuzzy, yaitu: fuzzifikasi, basis aturan, inferensi dan defuzzifikasi.

1. Fuzzifikasi

Sistem penyiraman tanaman ini menggunakan dua buah masukan yang akan difuzzifikasikan ke dalam himpunan fuzzy. Terdapat dua fungsi keanggotaan dalam sistem ini, yaitu fungsi keanggotaan *input* suhu udara dan kelembaban tanah. Digunakan empat buah nilai linguistik untuk suhu yaitu Dingin, Agak Dingin, Normal, dan Panas.

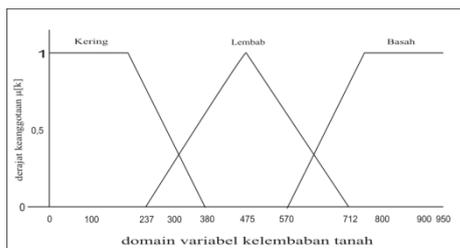


Gambar 13. Fungsi Keanggotaan Suhu

Dimana:

- Dingin = $15^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}$
- Agak Dingin = $19^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$
- Normal = $23^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C}$
- Panas = $27^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$

Sedangkan untuk fungsi keanggotaan kelembaban tanah menggunakan tiga buah nilai linguistik yaitu Kering, Lembab, dan Basah.



Gambar 14. Fungsi Keanggotaan Kelembaban Tanah

Dimana:

- Kering = 0 – 380
- Lembab = 237 – 712
- Basah = 570 – 950

2. Basis Aturan (*IF-THEN Rule*)

Setelah pembentukan himpunan fuzzy (fuzzifikasi), maka dilakukan pembentukan aturan fuzzy (*fuzzy rule*). Aturan-aturan dibentuk untuk menyatakan relasi antara *input* dan *output*. Operator yang digunakan untuk menghubungkan antara dua *input* adalah operator *AND*, dan yang memetakan antara *input-output* adalah *IF-THEN*.

Berdasarkan fungsi keanggotaan *input* yang telah dibentuk sebelumnya, maka dibentuk 12 aturan yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Basis Aturan

Suhu lembab	Dingin	Agak Dingin	Normal	Panas
Kering	Sedang	Sedang	Agk Lama	Lama
Lembab	Cepat	Cepat	Sedang	Agk Lama
Basah	Sgt Cepat	Sgt Cepat	Cepat	Cepat

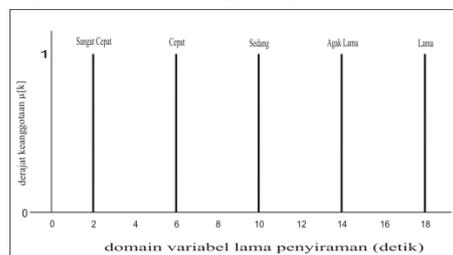
3. Inferensi

Tahapan selanjutnya, aturan-aturan yang telah dibuat sebelumnya digunakan sebagai basis pengetahuan untuk proses pada blok inferensi. Inferensi adalah proses evaluasi aturan untuk menghasilkan keluaran dari tiap aturan. Untuk mendapatkan keluaran dalam domain fuzzy digunakan aplikasi fungsi implikasi. Fungsi implikasi yang digunakan adalah implikasi *Min* (menggunakan operator *AND*).

4. Defuzzifikasi

Dipilih lima buah nilai linguistik untuk menentukan kondisi dari lama waktu

penyiraman yang direpresentasikan dalam bentuk fungsi keanggotaan *singleton* sebagaimana terlihat pada gambar 15.



Gambar 15. Fungsi Keanggotaan Lama Waktu Penyiraman

Dimana:

- Sangat Cepat = 2 detik
- Cepat = 6 detik
- Sedang = 10 detik
- Lama = 14 detik
- Sangat Lama = 18 detik

Metode defuzzifikasi yang digunakan dalam menentukan lama waktu penyiraman menggunakan *Height Method*. Metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai *crisp* yang memiliki derajat keanggotaan maksimum pada keanggotaan *singleton*.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun pengujian alat ini meliputi pengujian perangkat lunak, perangkat keras, dan pengujian sistem secara keseluruhan. Setelah dilakukan pengujian terhadap alat, maka dilakukan analisis mengenai kinerja sistem penyiraman tanaman otomatis ini.

5.1 Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian perangkat lunak bertujuan untuk mengetahui apakah program yang didesain sebelumnya dapat berjalan dengan baik atau tidak, sehingga dapat dilakukan analisa kesalahan-kesalahan di dalam proses pembuatan program.

Pengujian program dilakukan dengan menguji eksekusi perangkat keras terhadap program yang telah ditanamkan, hal ini untuk mengetahui apakah konfigurasi program terhadap perangkat keras melalui *port-port* mikrokontroler dapat berjalan.

Indikator keberhasilan yang menunjukkan bahwa program berjalan dengan baik adalah sebagai berikut:

1. Konfigurasi *port* I/O, dimana *port* masukan pada *port* A, *port* keluaran pada *port* B, *port* C dan *port* D.
2. Masukan yang berupa sinyal analog dari sensor suhu dan sensor kelembaban tanah dapat dikonversi ke sinyal digital dan ditampilkan dalam satuan angka desimal (gambar 16).
3. LCD menampilkan jam digital, nilai resistansi untuk dua buah sensor dalam angka desimal, dan menampilkan lama waktu penyiraman sesuai dengan keluaran sistem inferensi fuzzy.

Gambar 16 menunjukkan hasil pengujian konfigurasi program untuk sensor suhu dan kelembaban tanah dan juga parameter keberhasilan dalam menampilkan jam digital. hasil pembacaan suhu 30°C dan kelembaban tanah saat sensor ditancapkan ke dalam tanah sebesar 458.



Gambar 16. Tampilan Pembacaan Sensor dan Tampilan Jam Digital

Selanjutnya adalah pengujian program sistem inferensi fuzzy, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem dengan penerapan metode fuzzy ini dapat menghasilkan keluaran sesuai dengan perancangan yang telah dibuat sebelumnya. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Program Sistem Inferensi Fuzzy

No	Input		Lama penyiraman keluaran sistem (detik)	Perhitungan manual
	Suhu	Kelembaban		
1	15°C	200	Sedang (10 det)	Sedang (10 det)
2	16°C	350	Cepat (6 det)	Cepat (6 det)
3	17°C	460	Cepat (6 det)	Cepat (6 det)
4	18°C	600	Cepat (6 det)	Cepat (6 det)
5	19°C	750	Sgt cepat (2 det)	Sgt cepat (2 det)
6	20°C	200	Sedang (6 det)	Sedang (6 det)
7	21°C	350	Cepat (6 det)	Cepat (6 det)
8	22°C	460	Cepat (6 det)	Cepat (6 det)
9	23°C	600	Cepat (6 det)	Cepat (6 det)
10	24°C	750	Sgt cepat (2 det)	Sgt cepat (2 det)

Berdasarkan hasil pengujian program dan proses perhitungan yang dilakukan secara manual, dapat diketahui program

sistem inferensi yang dibuat sudah dapat menghasilkan keluaran yang sesuai dengan perancangan. Hasil keluaran program sama dengan keluaran hasil perhitungan.

5.2 Pengujian Perangkat Keras

Pengujian perangkat keras bertujuan untuk mengetahui apakah perangkat keras yang sebelumnya didesain dan dibuat dapat berjalan dengan lancar atau tidak, sehingga dapat dianalisa kesalahan-kesalahan dalam proses pembuatan perangkat keras.

5.2.1 Pengujian LM35

Pengujian kinerja sensor dilakukan dengan melakukan pengukuran langsung pada kondisi suhu luar ruangan. Hasil pengukuran sensor kemudian dibandingkan dengan termometer digital (alat ukur suhu standar). Perbandingan ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi pengukuran sensor LM35. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Pengujian LM35

Pengujian	Waktu	LM35	Termometer	
Hari ke-1	Pagi	06.00	27,4°C	27,5°C
		07.00	28,7°C	29°C
	Siang	11.00	30,8°C	31,3°C
		12.00	31,3°C	32°C
	Sore	17.00	29,8°C	29,5°C
		18.00	29,8°C	30°C
Nilai rata-rata		29,6°C	29,9°C	
Hari ke-2	Pagi	06.00	27,6°C	27,8°C
		07.00	28°C	28,2°C
	Siang	11.00	31°C	30,9°C
		12.00	32,3°C	31,7°C
	Sore	17.00	31,2°C	30,9°C
		18.00	30,3°C	30,6°C
Nilai rata-rata		30,1°C	30°C	
Hari ke-3	Pagi	06.00	27,2°C	27,5°C
		07.00	28,1°C	28°C
	Siang	11.00	29,5°C	29,9°C
		12.00	32°C	31,3°C
	Sore	17.00	31,7°C	32,1°C
		18.00	29,3°C	28,8°C
Nilai rata-rata		29,6°C	29,6°C	

Dari hasil pengujian dan perhitungan nilai *%error* terhadap nilai pembacaan sensor suhu LM35 dapat disimpulkan, sensor dapat bekerja dengan baik karena nilai *%error* LM35 untuk 3 hari pengukuran sangat kecil yaitu $\pm 1\%$.

5.2.2 Pengujian Sensor Kelembaban Tanah

Pengujian kinerja sensor dilakukan dengan melakukan pengukuran langsung pada kondisi tanah media tanam. Pengujian dilakukan dengan tujuan apakah sensor dapat mengukur kelembaban tanah dan dapat menampilkan hasilnya di layar LCD dalam satuan angka desimal. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Sensor Kelembaban Tanah

Pengujian	No. Polybag	Waktu (detik) penyiraman dan volume air (ml)	Kelembaban tanah	
			Sebelum disiram	Setelah disiram
hari ke-1	1	10 det / 200 ml	385	658
	2	10 det / 200 ml	328	563
	3	10 det / 200 ml	412	697
	4	10 det / 200 ml	165	448
hari ke-2	1	10 det / 200 ml	403	673
	2	10 det / 200 ml	358	647
	3	10 det / 200 ml	421	696
	4	10 det / 200 ml	367	629
hari ke-3	1	10 det / 200 ml	463	718
	2	10 det / 200 ml	390	648
	3	10 det / 200 ml	456	740
	4	10 det / 200 ml	312	594

Berdasarkan hasil pengujian (tabel 4) dapat disimpulkan, sensor dapat bekerja dengan baik karena sensor dapat mengukur nilai kelembaban tanah pada masing-masing *polybag* setelah dilakukan penyiraman maupun sebelum dilakukan penyiraman. Sensor mampu membaca kenaikan nilai kelembaban tanah setelah dilakukan penyiraman.

5.2.3 Pengujian Real Time Clock

Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 17.

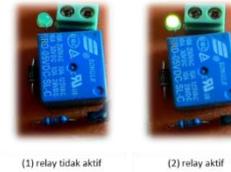


Gambar 17. Pengujian RTC

Indikator keberhasilan dari rangkaian RTC DS1307 adalah mikrokontroler dapat membaca data variabel waktu IC RTC, mengatur jadwal penyiraman, dan menampilkan jam digital pada layar LCD.

5.2.4 Pengujian Relay

Pengujian terhadap *relay* dilakukan untuk mengetahui apakah *relay* dapat merespon sinyal keluaran dari mikrokontroler.

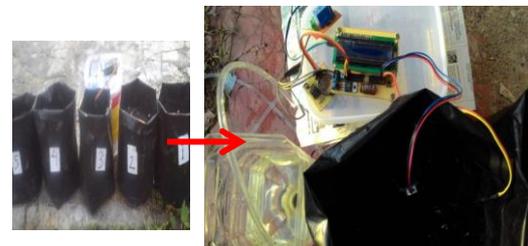


Gambar 18. Pengujian Relay

Dari pengujian yang telah dilakukan, *relay* dapat merespon sinyal keluaran dari mikrokontroler ditandai dengan perubahan saklar dan *led* yang terdapat pada rangkaian *relay*, dengan ini *relay* dianggap dapat bekerja dengan baik.

5.3 Pengujian Keseluruhan Sistem

Indikator keberhasilan pengujian sistem ini adalah jadwal penyiraman sesuai dengan waktu yang ditentukan, sensor dapat membaca dan memberikan parameter masukan pada sistem fuzzy, sistem pengambilan keputusan dengan menggunakan metode fuzzy dapat berjalan sesuai dengan perancangan, dan pompa air menyala sesuai dengan keluaran yang dihasilkan sistem fuzzy.



Gambar 19. Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis

5.3.1 Pengujian Sistem Inferensi Fuzzy

Pengujian ini bertujuan untuk melihat apakah aturan-aturan fuzzy yang dibuat dapat berjalan sesuai dengan perancangan dan bekerja pada kondisi yang riil. Pengujian ini dilakukan dengan menyiapkan 3 buah *polybag* berukuran sama yang diberi penomoran, kemudian diisi dengan jenis tanah yang sama dan volume tanah yang kurang lebih sama banyak. Pengujian sistem inferensi fuzzy ini dilakukan dengan merekayasa kondisi kelembaban tanah agar dapat dilihat aturan-aturan sistem fuzzy

untuk beberapa keluaran yang berbeda. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Pengujian Basis Aturan Fuzzy

Peng-ujian	No. polybag	Jam	Hasil pengukuran sensor		Status penyiraman (detik)
			suhu	kelembaban	
Hari ke-1	1	09.00	29°C	413	Agk Lama (14 det)
	2	13.00	31°C	277	Lama (18 det)
	3	16.00	30°C	463	Agk Lama (14 det)
Hari ke-2	1	09.00	30°C	642	Cepat (6 det)
	2	13.00	32°C	690	Cepat (6 det)
	3	16.00	30°C	716	Cepat (6 det)
Hari ke-3	1	09.00	29°C	557	Sedang (10 det)
	2	13.00	31°C	638	Cepat (6 det)
	3	16.00	31°C	540	Agk Lama (14 det)
Hari ke-4	1	09.00	28°C	674	Cepat (6 det)
	2	13.00	31°C	703	Cepat (6 det)
	3	16.00	27°C	649	Cepat (6 det)
Hari ke-5	1	09.00	28°C	326	Sedang (10 det)
	2	13.00	30°C	415	Agk Lama (14 det)
	3	16.00	29°C	442	Sedang (10 det)

Tabel 5 menunjukkan data pengujian yang diambil dalam waktu 5 hari. Dari 5 buah himpunan lama waktu penyiraman yang didefinisikan dalam sistem, himpunan dengan nilai linguistik “Sangat Cepat” (2 detik waktu penyiraman) belum dapat dilihat hasilnya. Hal ini dikarenakan pada saat pengujian, kondisi untuk melakukan penyiraman 2 detik (sangat cepat) belum terpenuhi.

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 5 dan analisis perhitungan terhadap sistem inferensi fuzzy pada kondisi riil melalui pembacaan sensor suhu dan kelembaban tanah, hasilnya menunjukkan bahwa sistem inferensi fuzzy yang telah dibuat dapat berjalan dengan baik dan menghasilkan keluaran sesuai dengan aturan-aturan yang telah dirancang.

5.3.2 Pengujian Sistem pada Tanaman Seledri

Pengujian dilakukan untuk melihat kerja sistem secara nyata yang dilakukan selama 7 hari pada tanaman Seledri, dengan waktu untuk memulai penyiraman diatur pada jam 17.00 sore. Penyiraman dilakukan satu kali sehari, hal ini mengacu pada kebutuhan tanaman Seledri yang memerlukan penyiraman minimal satu kali sehari pada pagi atau sore hari dan kelembaban tanah dijaga pada rentang

65%-75% (617-712 nilai pembacaan sensor). Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Pengujian Sistem pada Tanaman Seledri

Pengujian	No. polybag	Jam	Bacaan sensor		Lama siram (detik)	Tanah setelah siram	Nilai %
			Suhu (°C)	Kelembaban			
Hari 1	1	17.00	29	518	10 s	683	71,89
	2	17.00	29	567	10 s	732	77,05
	Rata-rata setelah siram						707,5
Hari 2	1	17.00	30	473	14 s	738	77,68
	2	17.00	30	376	14 s	661	69,58
	Rata-rata setelah siram						699,5
Hari 3	1	17.00	31	583	14 s	784	78,74
	2	17.00	31	440	14 s	705	74,21
	Rata-rata setelah siram						726,5
Hari 4	1	17.00	31	537	14 s	702	73,89
	2	17.00	31	476	14 s	671	70,63
	Rata-rata setelah siram						686,5
Hari 5	1	17.00	29	612	10 s	747	78,63
	2	17.00	29	596	10 s	716	75,37
	Rata-rata setelah siram						731,5
Hari 6	1	17.00	30	588	14 s	735	77,37
	2	17.00	30	517	14 s	682	71,79
	Rata-rata setelah siram						708,5
Hari 7	1	17.00	29	577	10 s	642	67,58
	2	17.00	29	606	10 s	671	70,63
	Rata-rata setelah siram						656,5

Data pengujian hari ke-3 dan hari ke-5 menunjukkan rata-rata nilai kelembaban tanah setelah dilakukan penyiraman melebihi nilai 75%. Kelembaban tanah rata-rata pengujian hari ke-3 adalah 76,47% dan hari ke-5 adalah 77%.

Data rata-rata kenaikan kelembaban tanah pengujian hari ke-1 adalah 74,47%, hari ke-2 adalah 73,63%, hari ke-4 adalah 72,26%, hari ke-6 adalah 74,58%, dan hari ke-7 adalah 69,11%. Berdasarkan data-data lima hari hasil pengujian tersebut, sistem dapat menjaga kelembaban tanah sesuai dengan kondisi yang diinginkan.

Total rata-rata kelembaban tanah setelah dilakukan penyiraman untuk 7 hari pengujian adalah 73,93%.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat setelah proses pengerjaan proyek tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem penyiraman tanaman otomatis yang mengintegrasikan konsep logika fuzzy dengan mikrokontroler telah berhasil dibuat. Hasilnya dapat dilihat dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan, dimana mikrokontroler mampu melakukan proses-proses perhitungan sesuai dengan aturan-aturan fuzzy yang telah diprogram pada mikrokontroler.
2. Berdasarkan hasil pengujian sistem selama 7 hari pada tanaman Seledri dengan suhu udara rata-rata per hari pada pukul 17.00 sore adalah 30°C dan kelembaban tanah rata-rata per hari adalah 533 (56,10%), lama waktu penyiraman yang efektif untuk setiap kali penyiraman adalah 10 detik dan 14 detik dengan rata-rata keluaran air per detik \pm 20ml.
3. Dengan menggunakan *Real Time Clock*, waktu penyiraman dapat diatur sesuai waktu yang diinginkan. Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian jadwal penyiraman dapat diatur satu hari sekali pada pukul 17.00 sore.
4. Sistem inferensi fuzzy yang dirancang pada alat penyiraman tanaman dapat dikatakan sudah mampu mengatasi masalah penyiraman pada tanaman khususnya tanaman Seledri (kondisi kelembaban tanah ideal 65%-75%). Hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian sistem yang dilakukan pada tanaman Seledri. Dari pengujian sistem yang dilakukan selama 7 hari untuk dua buah *polybag* yang berisi tanaman Seledri, diperoleh nilai rata-rata kelembaban tanah selama 7 hari pengujian dapat dijaga pada kondisi 73,93%.
5. Berdasarkan hasil pengujian sistem pada tanaman Seledri, masih terdapat nilai kesalahan, sehingga hasil masih belum sesuai dengan nilai kelembaban tanah yang diinginkan. Terdapat 2 hari pengujian dimana nilai kelembaban tanah setelah penyiraman lebih dari 75% yaitu, pengujian hari ke-3 adalah 76,47% dan hari ke-5 adalah 77%. Nilai kesalahan ini dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti, perhitungan dalam penentuan waktu penyiraman yang

belum terlalu akurat, variabel keluaran untuk sistem fuzzy hanya lima buah, dan tingkat akurasi dari pembacaan sensor kelembaban tanah.

6.2 Saran

Adapun saran-saran untuk menyempurnakan kerja sistem dan pengembangan lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Untuk sistem penyiraman yang lebih spesifik dan teliti, dibutuhkan sensor-sensor masukan yang lebih beragam seperti sensor PH tanah, kelembaban udara, suhu tanah, dan sensor-sensor lain yang dapat mengoptimalkan kerja sistem.
2. Pengaturan jadwal penyiraman sistem ini masih dilakukan lewat pengaturan pada program, oleh karena itu diperlukan antarmuka tambahan seperti *keypad* yang merupakan perangkat masukan agar dapat dengan mudah mengatur jadwal penyiraman sesuai dengan waktu yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ratnasari, J. (2007). *Galeri Tanaman Hias Bunga*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- [2] Sofwan, A. (2005). *Penerapan Fuzzy Logic pada Sistem Pengaturan Jumlah Air*. Jakarta: SNATI.
- [3] Wahyujati, S. T. (2011). *Implementasi metode fuzzy logic untuk pengaturan kelembaban tanah pada tanaman cabai*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- [4] Kusumadewi, S. & Purnomo, H. (2010). *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [5] Hadi, M. S. (2008). *Mengenal Mikrokontroler ATmega16*. Malang: Ilmu Komputer.
- [6] Setyaningrum, H.D. & Saparinto, C. (2011). *Panen Sayur Secara Rutin di Lahan Sempit*. Jakarta: Penebar Swadaya.