

SISTEM PENGENDALIAN KONDISI LINGKUNGAN TANAMAN PADA RUMAH KACA MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER

Edhifa¹, Linda Wijayanti²

Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya – Jakarta
Email: linda.wijayanti@atmajaya.ac.id

ABSTRAK

Banyak jenis tanaman memerlukan kondisi lingkungan tertentu agar dapat tumbuh secara optimal, namun kondisi lingkungan tempat penanaman sering kali tidak sesuai dengan kondisi lingkungan yang dibutuhkannya. Untuk menciptakan kondisi lingkungan yang sesuai dengan kebutuhan tanaman, biasanya diperlukan rumah kaca. Rumah kaca adalah bangunan yang berfungsi untuk memanipulasi kondisi lingkungan di dalamnya. Di Indonesia, pengaturan lingkungan rumah kaca kebanyakan masih dilakukan secara manual, sehingga ketergantungan pada manusia tinggi. Sistem pengaturan rumah kaca yang dirancang menggunakan mikrokontroler ATmega16 sebagai unit pemroses yang mengolah informasi waktu dari *Real Time Clock* DS1302 dan hasil pengukuran sensor suhu LM35 serta sensor suhu dan kelembapan SHT11. Data yang telah diolah tersebut digunakan mikrokontroler untuk mengendalikan suhu, kelembapan udara, dan penyiraman pada rumah kaca dengan mengatur kerja dari pemanas, kipas pendingin, *humidifier*, kipas sirkulasi, dan pompa penyiram. Hasil pengujian menunjukkan sensor suhu LM35 memiliki persentase kesalahan antara 0,14% - 0,67%, serta sensor SHT11 memiliki persentase kesalahan sebesar 0,36% untuk pengukuran suhu dan 3,11% untuk pengukuran kelembapan udara. Sistem pengaturan rumah kaca ini dapat berjalan dengan baik sesuai rancangan.

Kata kunci: rumah kaca, mikrokontroler, sensor SHT11, *real time clock*.

ABSTRACT

Many types of plants require a certain environment in order to grow optimally, but the environmental condition of cultivation is often incompatible with the required environmental conditions. To create the environment according to the needs of plant, usually required greenhouses. Greenhouse is a structure that serves to manipulate the environmental condition in it. In Indonesia, most of the greenhouse environment settings are still done manually, so that the dependence on human is still high. Greenhouse control system that is designed uses microcontroller ATmega16 as its processing unit which processes time information from DS1302 Real Time Clock and measurements from LM35 temperature sensor and SHT11 temperature and humidity sensor. Data that have been processed by microcontroller is used to control temperature, humidity, and watering of the greenhouse by regulating the work of the heater, cooling fan, humidifier, exhaust fan, and watering pump. The test results show that LM35 temperature sensor has error percentage between 0.14% - 0.67%, and SHT11 sensor has error percentage 0.36% for temperature measurements and 3.11% for humidity measurement. This greenhouse control system can work well according to the design.

Keywords: greenhouse, microcontroller, SHT11 sensor, *real time clock*.

PENDAHULUAN

Agar dapat tumbuh dan berkembang secara optimal, banyak jenis tanaman membutuhkan kondisi lingkungan tertentu. Namun kondisi lingkungan tempat penanaman sering kali tidak sesuai dengan kondisi lingkungan yang dibutuhkannya, sehingga pertumbuhan tanaman terhambat. Untuk menciptakan kondisi lingkungan yang sesuai dengan kebutuhan tanaman, para pecinta tanaman umumnya menggunakan rumah kaca.

Rumah kaca adalah bangunan yang terbuat dari plastik dan berfungsi untuk memanipulasi kondisi lingkungan di dalamnya. Di Indonesia, rumah kaca belum difungsikan secara maksimal karena umumnya hanya digunakan untuk melindungi tanaman dari hujan, gangguan hama, tiupan angin, dan polusi yang dapat merusak tanaman. Pengaturan lingkungan di dalamnya kebanyakan masih dilakukan secara manual, sehingga ketergantungan pada manusia juga masih tinggi.

Tujuan dari penelitian ini membahas tentang perancangan sistem pengendalian kondisi lingkungan tanaman, yaitu suhu, kelembapan, dan penyiraman pada rumah kaca secara otomatis. Dengan sistem ini, tanaman diharapkan dapat tumbuh dengan optimal tanpa memerlukan pengawasan manusia terus menerus.

DASAR TEORI

A. Mikrokontroler ATmega16

Mikrokontroler adalah suatu *chip* yang terdiri atas unit pemroses, *Random Access Memory* (RAM), *Read Only Memory* (ROM), *input/output*, dan fasilitas pendukung lainnya [1]. Spesifikasi mikrokontroler ini antara lain [5]:

1. Memiliki 32 jalur I/O yang dapat diprogram.
2. Memiliki 16 KB *In System Programmable* (ISP) *flash* memori.
3. Memiliki 1 KB *Static Random Access Memory* (SRAM).
4. Memiliki 8 saluran 10 bit *Analog to Digital Converter* (ADC).
5. Memiliki *Serial Peripheral Interface* (SPI) dan *Two-wire Serial Interface* (TWI).

B. *Liquid Crystal Display* (LCD)

LCD adalah piranti elektronika dari bahan cairan kristal yang berfungsi untuk menampilkan berbagai karakter sesuai dengan *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII). LCD yang digunakan pada penelitian ini memiliki ukuran 2 x 16 karakter.

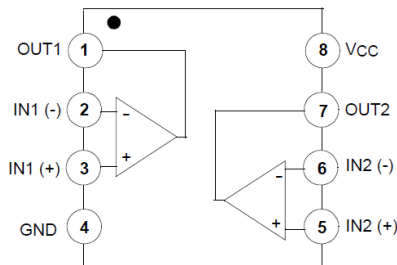
C. *Keypad* Matriks

Keypad matriks adalah susunan tombol dalam bentuk matriks yang digunakan untuk memasukkan data. *Keypad* matriks yang digunakan terdiri atas 3 kolom dan 4 baris yang bekerja dengan menggunakan teknik *scanning*. Teknik *scanning* dilakukan dengan memberikan logika '0' pada kaki baris secara bergantian, lalu kaki kolom dibaca apakah ada yang kondisinya berlogika '0'.

D. *Operational Amplifier* (Op-Amp)

Operational Amplifier (Op-Amp) adalah kumpulan transistor dan resistor dalam sebuah IC yang biasa digunakan dalam pengondisian sinyal karena dapat digunakan sebagai penguat, *summing amplifier*, *differential amplifier*, *integrator*, dan *differentiator*. Op-Amp yang digunakan adalah IC LM358. IC LM358 dapat bekerja dengan mode catu daya tunggal (0-32 volt) maupun catu daya ganda (± 16 volt). Susunan kaki IC

LM358 ditunjukkan pada Gambar 1. Op-Amp digunakan sebagai penguat tak membalik (*non-inverting amplifier*).



Gambar 1. Susunan kaki IC LM358 [6]

E. Sensor Suhu LM35

Sensor suhu LM35 merupakan sensor yang berfungsi untuk mengubah besaran suhu menjadi tegangan. Karakteristik sensor suhu LM35 sebagai berikut [8]:

1. Sensitivitas suhu dengan faktor skala linier antara tegangan dan suhu 10 mV/°C.
2. Jangkauan operasi suhu antara -55°C sampai +150°C.
3. Bekerja pada tegangan 4 volt sampai 30 volt.

F. Sensor Suhu dan Kelembapan SHT11

Sensor ini berfungsi untuk mengubah besaran suhu dan kelembapan udara menjadi besaran listrik. SHT11 berbentuk sebuah *single chip* yang terdiri atas sensor suhu dan kelembapan udara yang keluarannya telah dikalibrasi dan diubah dalam bentuk digital menggunakan *Analog to Digital Converter* (ADC) 14 bit yang terdapat pada *chip* tersebut. Spesifikasi sensor ini antara lain [7]:

1. Rentang suhu yang dapat diukur yaitu -40°C sampai 125°C.
2. Rentang kelembapan yang dapat diukur yaitu 0% RH sampai 100% RH.

3. Komunikasi serial dengan mikroprosesor menggunakan *2-wire interface*.
4. Akurasi pengukuran suhu $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ pada suhu pengoperasian 25°C dan akurasi pengukuran kelembapan udara $\pm 3\%$ RH.

G. Real Time Clock (RTC)

Real Time Clock (RTC) adalah jam elektronik berupa *Integrated Circuit* (IC) yang dapat menghitung data waktu secara *real time*. RTC yang digunakan adalah IC DS1302 dengan spesifikasi IC sebagai berikut [4]:

1. Informasi waktu yang disediakan adalah detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, dan tahun hingga tahun 2100.
2. Komunikasi serial ke mikroprosesor menggunakan 3 kabel yaitu CE, I/O (*Data line*), dan SCLK (*Serial clock*).
3. Jam dengan *mode 24* atau *12* menggunakan AM dan PM.
4. Menggunakan baterai *lithium* sebagai cadangan agar IC tetap beroperasi walaupun catu daya dimatikan.

H. Motor Stepper

Motor stepper adalah motor DC yang posisinya dapat diatur secara akurat dengan memberi pulsa tertentu. *Motor stepper* terdiri dari stator yang dililit kumparan dan rotor yang merupakan sebuah magnet permanen. Pemberian arus pada kumparan-kumparan stator secara berurutan akan menyebabkan kumparan tersebut menghasilkan medan magnet yang akan menarik rotor sehingga rotor bergerak per langkah/*step*. Besar derajat putaran dari satu *step* rotor tergantung jumlah lilitan stator dan konstruksi rotor. Urutan pemberian pulsa ke motor *stepper* yang berbeda akan menyebabkan perbedaan arah putaran.

PERANCANGAN SISTEM

A. Diagram Blok Sistem

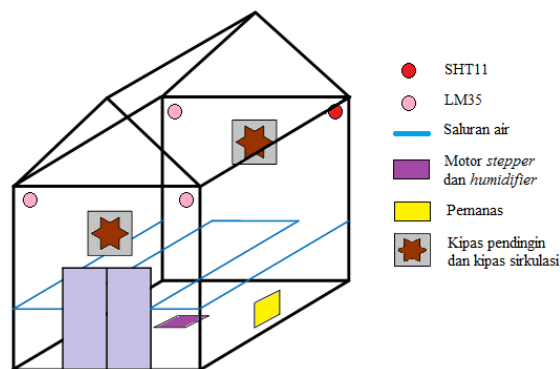
Simulasi sistem pengaturan rumah kaca ini direalisasikan dalam bentuk maket sederhana yang dibuat menggunakan rangka alumunium dan plastic *fiber*. Gambar 2 memperlihatkan sketsa maket rumah kaca. Sistem pengaturan rumah kaca yang dibuat digambarkan dalam bentuk diagram blok pada Gambar 3.

Sistem ini terdiri atas empat jenis masukan dan tujuh jenis keluaran yang diproses menggunakan mikrokontroler. Penjelasan masukan dan keluaran tersebut sebagai berikut:

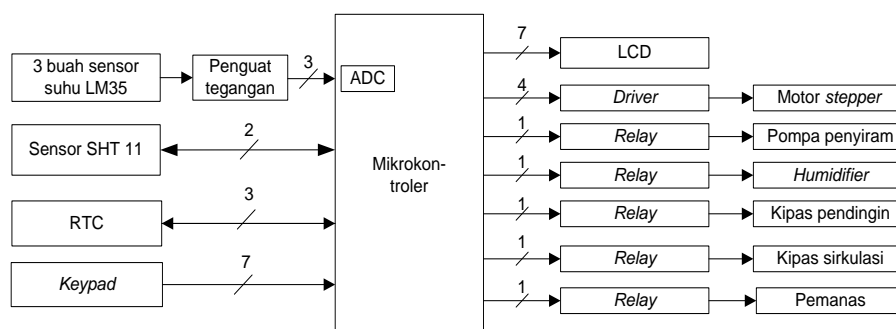
1. Sensor suhu LM35 dan sensor SHT11 berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembapan udara di dalam rumah kaca.
2. RTC berfungsi untuk memberikan informasi waktu ke mikrokontroler.
3. *Keypad* berfungsi untuk memasukkan nilai suhu, kelembapan udara, serta

waktu penyiraman tanaman yang diinginkan.

4. LCD digunakan sebagai antarmuka dengan pengguna serta untuk menampilkan informasi suhu, kelembapan udara, dan waktu.
5. Pompa penyiram berfungsi untuk menyalurkan air pada proses penyiraman tanaman. *Relay* digunakan untuk menjembatani keluaran dari mikrokontroler agar dapat mengaktifkan peralatan dengan catu daya lebih dari 5V.
6. *Humidifier* berfungsi untuk menciptakan kabut yang dapat meningkatkan kelembapan udara atau membantu menurunkan suhu rumah kaca.
7. Motor *stepper* berfungsi untuk menggerakkan *humidifier* agar kabut dapat mengenai seluruh bagian rumah kaca atau hanya ke bagian



Gambar 2. Sketsa maket rumah kaca



Gambar 3 Diagram blok sistem pengaturan rumah kaca

rumah kaca yang suhunya akan diturunkan.

8. Kipas pendingin berfungsi sebagai pengganti *air conditioner* untuk penurunan suhu rumah kaca dalam simulasi ini.
9. Kipas sirkulasi berfungsi untuk menghisap udara dari dalam rumah kaca lalu membuangnya ke luar sehingga kelembapan udara dapat diturunkan.
10. Pemanas berfungsi untuk meningkatkan suhu di dalam rumah kaca.

Cara kerja sistem pengaturan rumah kaca adalah sebagai berikut. Pertama-tama pengguna harus menekan saklar *on/off* ke posisi aktif untuk menyalakan sistem. Setelah saklar dalam keadaan *on*, LCD akan menampilkan perintah untuk memasukkan data berikut:

1. Batas bawah dan batas atas suhu, dengan rentang suhu yang dapat dimasukkan yaitu 20 - 40°C.
2. Batas bawah dan batas atas kelembapan udara, dengan rentang kelembapan yang dapat dimasukkan yaitu 30 – 100% RH.
3. Banyak penyiraman dalam satu hari, lama penyiraman, dan waktu penyiraman, dengan banyak penyiraman maksimal 5 kali sehari dan waktu yang dimasukkan dalam format 24 jam.

Jika data yang dimasukkan di luar batas yang ditentukan, atau batas atas suhu dan kelembapan kurang atau sama dengan batas bawahnya, maka pengguna diminta untuk memasukkan kembali batas tersebut. Jika terjadi kesalahan saat memasukkan data, maka pemasukan data dapat diulang dengan menekan karakter '*'. Data yang dimasukkan akan disimpan oleh

mikrokontroler setelah karakter '#' ditekan.

Ketika semua data yang diperlukan selesai dimasukkan, mikrokontroler akan mulai mengambil data dari sensor-sensor suhu dan kelembapan udara lalu menghitung nilai rata-rata suhu yang didapat dan menampilkannya pada LCD. Ketika suhu rata-rata ruangan yang terukur lebih rendah dari batas bawah suhu, pemanas akan dinyalakan sampai suhu rata-rata ruangan mencapai nilai suhu yang sudah diatur. Ketika suhu yang terukur di salah satu sudut ruangan lebih tinggi dari nilai batas atas suhu, mikrokontroler akan memeriksa besarnya perbedaan suhu tersebut. Jika perbedaannya lebih dari 2°C maka mikrokontroler akan mengaktifkan kipas pendingin, lalu mengarahkan motor *stepper* ke sudut ruangan tersebut dan mengaktifkan *humidifier*. Namun jika perbedaan suhunya kurang atau sama dengan 2°C, mikrokontroler hanya akan mengaktifkan kipas pendingin sampai mencapai nilai suhu yang sudah diatur.

Ketika kelembapan udara dalam ruangan lebih rendah dari batas bawah kelembapan udara, mikrokontroler akan memberikan sinyal untuk memutar motor *stepper* dan mengaktifkan *humidifier*. Ketika kelembapan udara dalam ruangan lebih tinggi dari batas atas, kipas sirkulasi akan diaktifkan sampai kelembapan udara yang dibutuhkan sistem terpenuhi.

Selama sistem berjalan, mikrokontroler akan memeriksa waktu saat itu. Jika RTC menunjukkan waktu yang sesuai dengan waktu penyiraman tanaman, maka pompa penyiram akan dinyalakan selama waktu yang telah diatur pengguna. Pengguna dapat mengganti pengaturan sistem pada saat

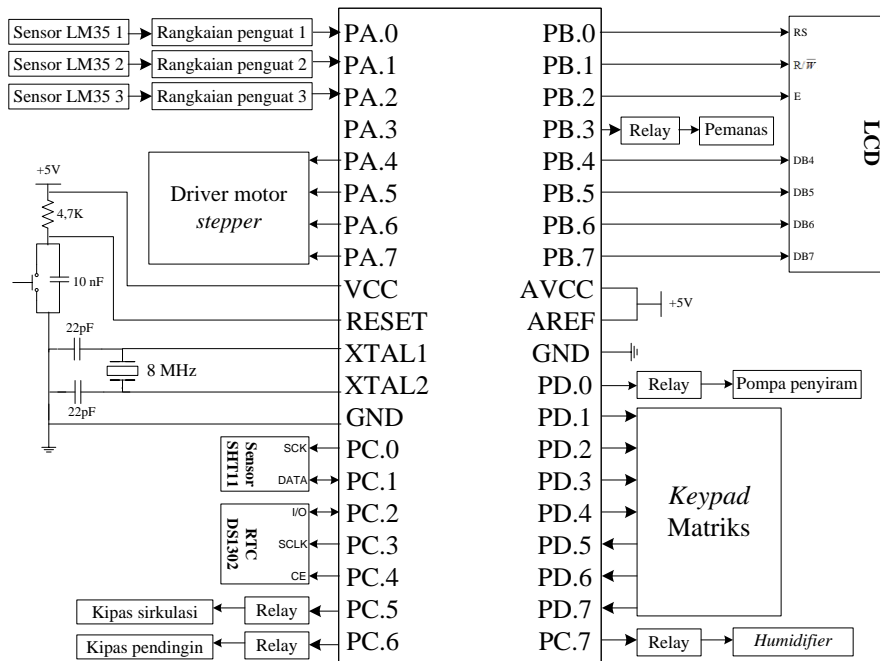
sistem sudah bekerja dengan menekan tombol *reset* pada mikrokontroler.

B. Perancangan Perangkat Keras

B.1 Rangkaian mikrokontroler ATmega16

Rangkaian mikrokontroler pada Gambar 4 berfungsi sebagai pengendali dan pengolah data dari keseluruhan sistem, dengan penggunaan *port-port* mikrokontroler sebagai berikut:

1. PA.0 – PA.2 dihubungkan dengan keluaran dari rangkaian penguat 1, rangkaian penguat 2, dan rangkaian penguat 3.
2. PA.4 – PA.7 dihubungkan dengan *driver motor stepper*.
3. PB.0 – PB.2 dihubungkan dengan kaki RS, R/\overline{W} , serta E pada LCD dan PB.4 – PB.7 dihubungkan dengan kaki DB4 – DB7 pada LCD.
4. PB.3 dihubungkan dengan *relay* untuk mengaktifkan pemanas.
5. PC.0 dihubungkan dengan kaki SCK dari sensor SHT11 dan PC.1 dihubungkan dengan kaki DATA dari sensor SHT11.
6. PC.2 – PC.4 dihubungkan dengan kaki I/O, SCLK, dan CE dari DS1302.
7. PC.5 dihubungkan dengan *relay* untuk mengaktifkan kipas sirkulasi.

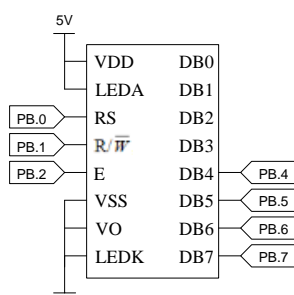


Gambar 4. Rangkaian mikrokontroler ATmega16

8. PC.6 dihubungkan dengan *relay* untuk mengaktifkan kipas pendingin.
9. PC.7 dihubungkan dengan *relay* untuk mengaktifkan *humidifier*.
10. PD.0 dihubungkan dengan *relay* untuk mengaktifkan pompa penyiram.
11. PD.1 – PD.7 dihubungkan dengan *keypad* matriks.

B.2 Rangkaian modul LCD

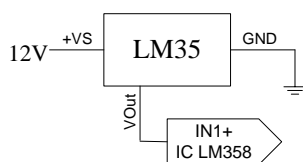
Modul LCD berfungsi untuk menampilkan waktu, suhu rata-rata, serta kelembapan yang terukur dan sebagai antarmuka saat memasukkan pengaturan rumah kaca yang diinginkan. Rangkaian modul LCD diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian modul LCD

B.3. Rangkaian sensor suhu LM35

Sensor suhu LM35 berfungsi untuk mengubah besaran suhu menjadi tegangan analog. Rangkaian sensor suhu LM35 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian sensor suhu LM35

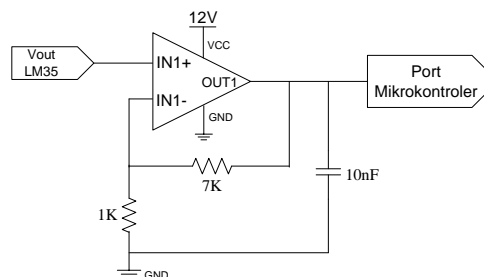
B.4. Rangkaian penguat tegangan

Penguat tegangan berfungsi untuk menguatkan tegangan keluaran dari LM35 sebelum dihubungkan ke ADC pada mikrokontroler. Rangkaian penguat yang digunakan adalah rangkaian penguat tak membalik dengan menggunakan IC Op-Amp LM358 yang dirancang untuk menghasilkan penguatan sebesar 8 kali. Keluaran rangkaian penguat 1 dihubungkan ke kaki mikrokontroler PA.0, keluaran rangkaian penguat 2 dihubungkan ke PA.1, dan keluaran rangkaian penguat 3 dihubungkan ke PA.2. Gambar 7 menunjukkan rangkaian penguat tegangan.

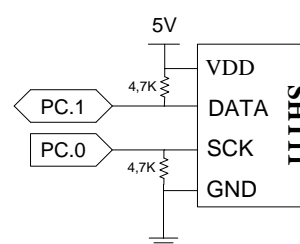
B.5. Rangkaian sensor SHT11

Sensor SHT11 berfungsi sebagai sensor suhu dan kelembapan. Rangkaian

sensor SHT11 dapat dilihat pada Gambar 8.



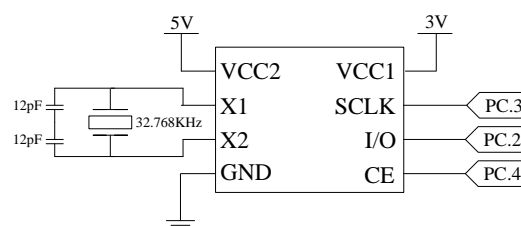
Gambar 7. Rangkaian penguat tegangan



Gambar 8. Rangkaian sensor SHT11

B.6. Rangkaian RTC DS1302

RTC DS1302 berfungsi untuk memberikan informasi waktu ke mikrokontroler. Rangkaian RTC DS1302 diperlihatkan pada Gambar 9.



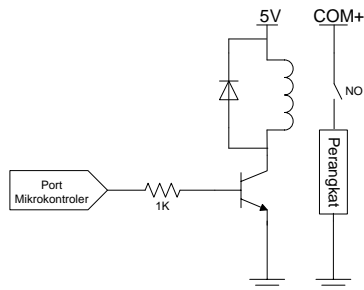
Gambar 9. Rangkaian RTC DS1302

Apabila catu daya utama pada kaki VCC2 nilainya 0,2V di bawah catu daya cadangan, maka catu daya cadangan akan diaktifkan, sehingga IC DS1302 dapat terus melakukan perhitungan waktu. Walaupun dapat melakukan perhitungan waktu dengan catu daya cadangan, tetapi proses pembacaan dan penulisan RTC tidak dapat dilakukan. Jika baterai cadangan

habis, IC DS1302 harus ditulis kembali agar sesuai dengan waktu yang berlaku.

B.7. Rangkaian relay

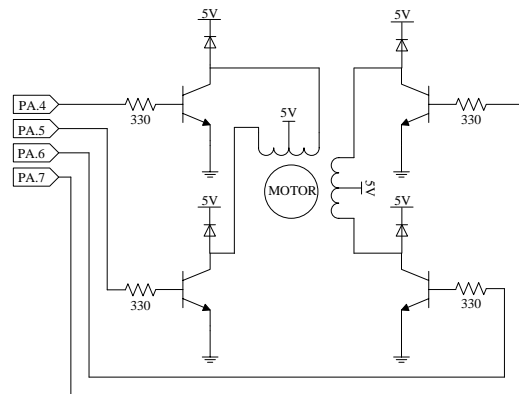
Relay berfungsi untuk menjembatani keluaran mikrokontroler agar dapat mengaktifkan kipas, pemanas, *humidifier*, dan pompa penyiram. Rangkaian *relay* diperlihatkan pada Gambar 10. Ketika kaki mikrokontroler diberi logika '1' maka transistor akan aktif sehingga ada arus yang mengalir pada koil *relay*. Adanya arus yang mengalir pada koil akan menimbulkan medan magnet yang menarik *switch* sehingga perangkat yang terhubung ke *relay* akan terhubung dengan catu daya.



Gambar 10 Rangkaian *relay*

B.8. Rangkaian driver motor stepper

Driver motor *stepper* berfungsi sebagai penghubung mikrokontroler dengan motor *stepper*. Gambar 11 menunjukkan rangkaian *driver* motor *stepper*. Pengaktifan transistor akan menyebabkan arus mengalir pada kumparan stator sehingga timbul medan magnet yang menarik rotor. Dengan mengaktifkan transistor secara bergantian melalui kaki mikrokontroler PA.4 sampai PA.7, rotor akan bergerak mengikuti urutan pengaktifan transistor tersebut. Arah putaran motor *stepper* dapat diubah dengan membalik urutan pengaktifan transistor.



Gambar 11. Rangkaian *driver* motor *stepper*

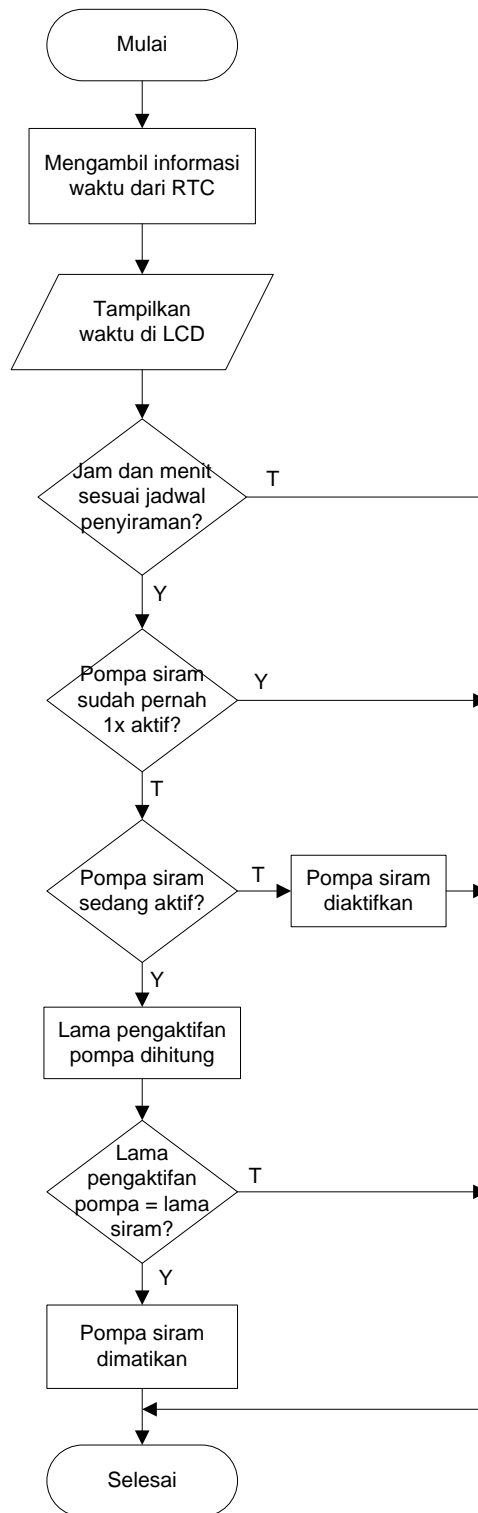
C. Perancangan Perangkat Lunak

Mikrokontroler diprogram menggunakan bahasa pemrograman C melalui *software* CodeVisionAVR. Mikrokontroler menjalankan dua proses yaitu proses normal dan proses interupsi. Proses interupsi berfungsi untuk memperbarui waktu, sehingga proses ini dijalankan setiap satu detik. Diagram alir interupsi diperlihatkan pada Gambar 12. Diagram alir proses normal dapat dilihat pada Gambar 13.

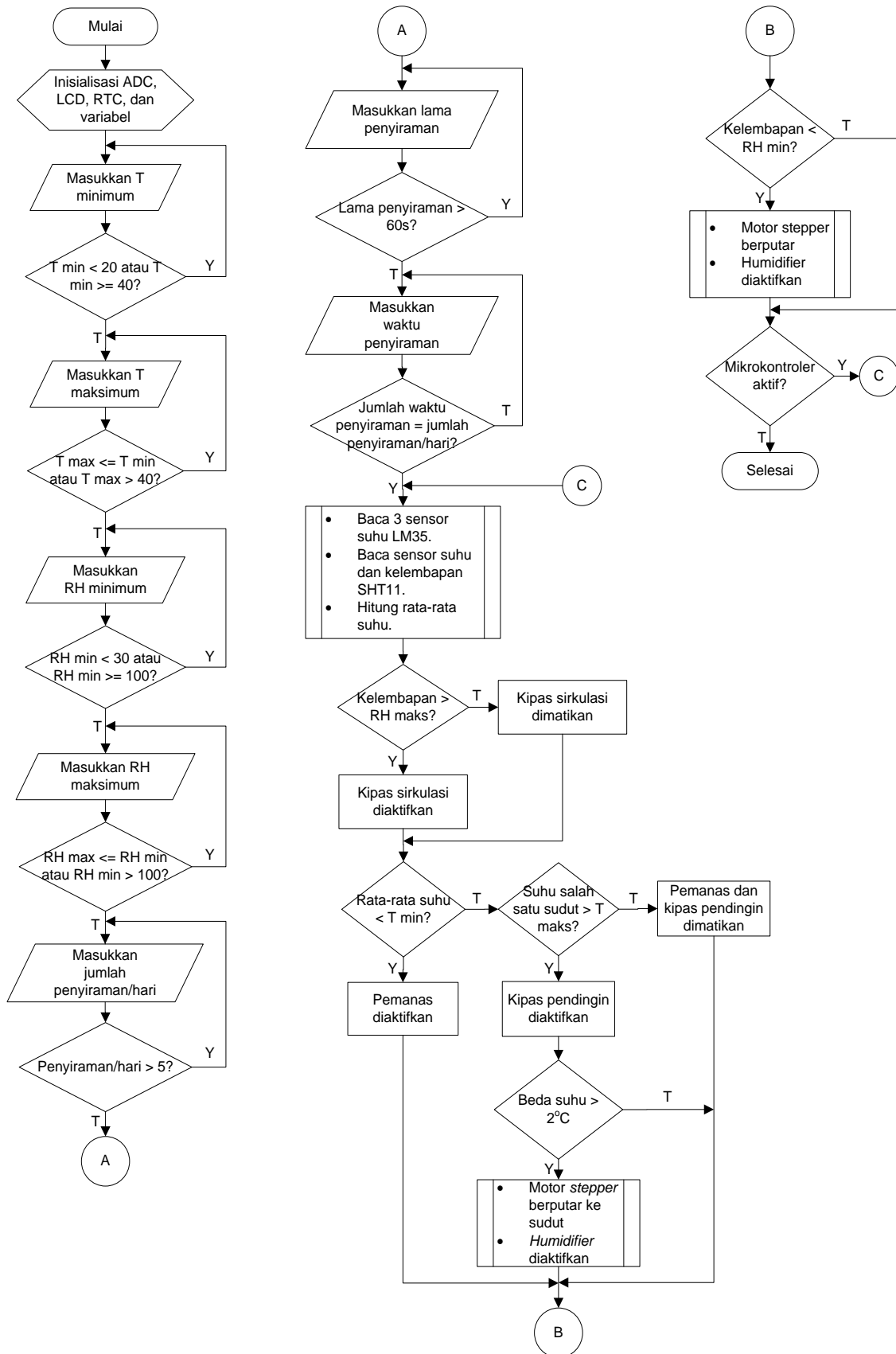
PENGUJIAN SISTEM

A. Pengujian RTC dan LCD

Pengujian RTC dan LCD dilakukan dengan menulis nilai awal jam, menit, detik, tanggal, bulan, dan tahun pada RTC terlebih dahulu. Setelah pengaturan waktu selesai, dilakukan pembacaan waktu dari RTC lalu hasil pembacaan tersebut ditampilkan ke LCD. Pada saat program berjalan, waktu yang ditampilkan pada LCD akan terus diperbarui. Ketika catu tegangan dimatikan lalu beberapa saat kemudian dinyalakan kembali, waktu yang ditampilkan sesuai dengan waktu saat itu.



Gambar 12. Diagram alir interupsi



Gambar 13 Diagram alir proses normal

B. Pengujian Sensor SHT11

Pengujian sensor SHT11 dilakukan dengan cara mendekatkan sensor SHT11 dan *Thermo-Hygrometer* Digital Corona GL89 dengan air yang dipanaskan. Sensor SHT11 diberi catu daya 5V dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1. Persentase kesalahan dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$\% \text{ Kesalahan} = \left| \frac{\text{Hasil sensor} - \text{Hasil acuan}}{\text{Hasil acuan}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

dengan:

% Kesalahan adalah persentase kesalahan sensor

Hasil sensor adalah hasil pengukuran sensor

Hasil acuan adalah hasil pengukuran alat ukur standar.

C. Pengujian ADC dan Sensor Suhu LM35

Pengujian ini dilakukan dengan cara mengaktifkan *port* A.0, A.1, dan A.2 sebagai masukan ADC. Ketiga *port* itu dihubungkan dengan keluaran dari tiga rangkaian penguat yang terhubung ke LM35, kemudian nilai digital yang dihasilkan ADC diprogram sesuai persamaan yang didapat dari kalibrasi agar terkonversi menjadi besaran suhu dalam satuan derajat celcius. Tabel 2 menunjukkan data hasil pengujian ADC dan LM35. Persentase kesalahan dihitung menggunakan Persamaan 1.

D. Pengujian Keseluruhan Sistem

Saat pertama kali sistem diaktifkan, LCD akan menampilkan perintah untuk memasukkan batas bawah suhu, batas atas suhu, batas bawah kelembapan, batas atas kelembapan, banyaknya penyiraman dalam satu hari, lama penyiraman, dan waktu penyiraman yang diinginkan. Jika

data yang dimasukkan tidak sesuai, maka memasukkan data akan terus diulang. Setelah semua data dimasukkan, maka LCD akan menampilkan waktu saat itu serta suhu dan kelembapan yang terukur seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Tampilan LCD saat sistem berjalan

Ketika waktu yang ditampilkan di LCD sesuai dengan waktu penyiraman tanaman yang telah diatur sebelumnya, maka pompa penyiram menyala sesuai lama penyiraman yang telah dimasukkan pengguna. Hasil pengujian keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 3.

SIMPULAN

Berdasarkan perancangan dan hasil pengujian sistem, dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan RTC sebagai penunjuk waktu untuk penyiraman otomatis berfungsi dengan baik.
2. Sensor suhu LM35 dapat mengukur suhu dengan persentase kesalahan 0,14% sampai dengan 0,67%.
3. Sensor SHT11 dapat mengukur suhu dengan persentase kesalahan 0,36% dan kelembapan udara dengan persentase kesalahan 3,11%.
4. Simulasi sistem pengaturan suhu, kelembapan udara, dan penyiraman otomatis pada rumah kaca dapat berjalan dengan baik sesuai rancangan.

Tabel 1. Hasil pengujian sensor SHT11

Pengujian ke-	Suhu (°C)		Persentase kesalahan (%)	Kelembapan (%RH)		Persentase kesalahan (%)
	SHT11	Corona GL89		SHT11	Corona GL89	
1	24,51	24,6	0,37	34,66	36	3,72
2	25,44	25,5	0,24	36,79	38	3,18
3	28,16	28,3	0,50	37,55	39	3,72
4	32,37	32,5	0,40	43,91	45	2,42
5	35,29	35,4	0,31	49,73	51	2,49
	Rata-rata		0,36	Rata-rata		3,11

Tabel 2. Hasil pengujian ADC dan LM35

Suhu (°C)	LM35 I		% kesalahan	LM35 II		% kesalahan	LM35 III		% kesalahan
	ADC	Suhu (°C)		ADC	Suhu (°C)		ADC	Suhu (°C)	
24,5	361	24,6	0,41	362	24,7	0,82	361	24,6	0,41
25	368	25,1	0,40	368	25,1	0,40	367	25	0
25,5	376	25,6	0,39	376	25,6	0,39	376	25,6	0,39
26	383	26,1	0,38	384	26,2	0,77	380	26	0
26,5	390	26,6	0,38	393	26,7	0,75	389	26,5	0
27	395	26,9	0,37	400	27,3	1,11	395	26,9	0,37
27,5	403	27,5	0	405	27,6	0,36	403	27,5	0
28	411	28	0	414	28,2	0,71	411	28	0
28,5	420	28,6	0,35	421	28,7	0,70	418	28,5	0
29	425	29	0	428	29,2	0,69	425	29	0
29,5	433	29,5	0	434	29,6	0,34	434	29,6	0,34
30	439	29,9	0,33	444	30,3	1,00	442	30,1	0,33
30,5	447	30,5	0	450	30,7	0,66	447	30,5	0
31	456	31,1	0,32	458	31,2	0,65	455	31	0
31,5	464	31,6	0,32	465	31,7	0,63	464	31,6	0,32
	Rata-rata		0,24	Rata-rata		0,67	Rata-rata		0,14

Tabel 3. Hasil pengujian keseluruhan sistem

Masukan dari keypad		Hasil pengukuran sensor suhu	Masukan dari keypad		Hasil pengukuran sensor kelembapan	Keluaran			
Batas atas suhu	Batas bawah suhu		Batas atas kelembapan	Batas bawah kelembapan		Kipas pendingin	Pemanas	Kipas sirkulasi	Humidifier
26 °C	22 °C	27°C	60%RH	40%RH	49%RH	aktif	-	-	-
33°C	30°C	27°C	80%RH	60%RH	49%RH	-	aktif	-	aktif
27 °C	25 °C	30 °C	80%RH	60%RH	62%RH	aktif	-	-	aktif
33°C	30°C	27°C	60%RH	40%RH	76%RH	-	aktif	aktif	-
32 °C	28 °C	31 °C	80%RH	70%RH	58%RH	-	-	-	aktif
29 °C	27 °C	30°C	60%RH	50%RH	73%RH	aktif	-	aktif	-
30°C	28°C	26°C	60%RH	40%RH	55%RH	-	aktif	-	-
30°C	28°C	29°C	60%RH	40%RH	55%RH	-	-	-	-
28°C	24°C	27°C	55%RH	40%RH	63%RH	-	-	aktif	-
26°C	24°C	27°C	80%RH	60%RH	54%RH	aktif	-	-	aktif

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adrianto, H. 2008. *Pemrograman Mikrokontroler AVR ATmega16: Menggunakan Bahasa C (Code-Vision AVR)*. Bandung: Informatika.
- [2] Boylestad, R. L. and Nashelsky, L. 2006. *Electronic Devices and Circuit Theory*. New Jersey: Prentice Hall.
- [3] Budiharto, W. dan Rizal, G. 2007. *Belajar Sendiri: 12 Proyek Mikrokontroler untuk Pemula*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- [4] <http://datasheets.maxim-ic.com/>. 2008. *DS1302 Trickle-Charge Timekeeping Chip*, (<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS1302.pdf>, diakses 25 Agustus 2018).
- [5] <http://www.atmel.com/>. 2009. *ATmega16 – 8-bit AVR Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash*, (<http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>, diakses 20 Agustus 2018).
- [6] <http://www.datasheetcatalog.org/>. 2002. *LM2904, LM358/LM385A, LM258/LM258A – Dual Operational Amplifier*, (<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/LM358.pdf>, diakses 13 Agustus 2018).
- [7] <http://www.sensirion.com/>. 2011. *Datasheet SHT1x Humidity and Temperature Sensor IC*, (http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf, diakses 15 Agustus 2018).
- [8] <http://www.ti.com/>. 2000. *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*, (<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>, diakses 12 Agustus 2018).
- [9] Shamsiri, R. 2007. *Principles of Greenhouse Control Engineering*. Institute of Advanced Technology Universiti Putra Malaysia.
- [10] Shamsiri, R. 2018. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 11(1). *Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture*.
- [11] Shamsiri R, Ismail W I W. A review of greenhouse climate control and automation systems in tropical regions. *Journal of Applied Agricultural Science and Application*, 2013; 2(3): 176–183.
- [12] Tocci, Ronald J., Neal S. Widmer, and Gregory L. Moss. *Digital*

Systems: Principles and Applications, 12th edition. Pearson Education, 2017.

- [13] Winoto, A. 2008. *Mikrokontroler AVR ATmega 8/16/32/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR*. Bandung: Informatika.