

SISTEM PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN PARAMETER LINGKUNGAN PERTUMBUHAN PADA TANAMAN HIDROPONIK

William¹, Hang Suharto¹ dan Harlianto Tanudjaja²

Abstract: Environment as a part of the living beings a major effect on a plant growth. Researches in studying plant growth and development are continuing to the present, for example a research to obtain formula for optimal growth and development of plants that are applied to hydroponic plants. Research carried out by monitoring, recording, and controlling the plant growth environment. The design's purpose is to monitor, record, and control the growth environmental parameters of the plants automatically, thus helping research on plant growth and development. The system works by monitoring and controlling environmental parameters with sensors, microcontroller, and parameter controler appropriate with the limits that is determined by the user and displays the recorded data of monitoring parameters that are made in the form of graphs on computer. Based on the test results, the system successfully monitor, record, and control of environmental parameters during operation.

Keywords: hydroponic, growth environment, monitoring, recording, controlling

Abstrak: Lingkungan sebagai bagian dari kehidupan makhluk hidup memiliki pengaruh besar terhadap tumbuh kembang tanaman. Penelitian yang mempelajari tumbuh kembang tanaman terus berlangsung hingga saat ini, misalnya untuk memperoleh formulasi optimal bagi tumbuh kembang tanaman yang diterapkan pada tanaman hidroponik. Penelitian dilakukan dengan memantau, merekam dan memberikan suatu perlakuan bagi tanaman. Perancangan ini bertujuan untuk melakukan pemantauan, perekaman, dan pengendalian parameter lingkungan pertumbuhan secara otomatis, sehingga membantu penelitian mengenai tumbuh kembang tanaman. Sistem ini berkerja memantau dan mengendalikan parameter lingkungan pertumbuhan dengan sensor, mikrokontroler, dan pengendali parameter sesuai batas yang ditentukan oleh pengguna dan merekam serta menampilkan data hasil pemantauan parameter yang telah dilakukan dengan grafik pada komputer. Berdasarkan pengujian, sistem berhasil memantau, merekam, dan mengendalikan parameter lingkungan selama sistem beroperasi.

Kata kunci: hidroponik, lingkungan pertumbuhan, pemantauan, perekaman, pengendalian

PENDAHULUAN

Tumbuhan sebagai salah satu makhluk hidup di muka bumi yang memiliki peranan penting dalam kelangsungan hidup manusia. Tumbuhan telah menjadi bagian penting dalam berbagai bidang kehidupan, salah satunya yaitu dalam bidang pangan dan pertanian. Penelitian mengenai pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan terus berlangsung hingga saat ini, baik pada bidang pangan maupun pertanian. Hal ini ditujukan untuk memperoleh formulasi optimal, yang dapat menghasilkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman sesuai harapan [1]. Berbagai penelitian telah membantu manusia dalam mempelajari tumbuh kembang berbagai jenis tanaman, sehingga dengan hasil yang diperoleh dari penerapan perkembangan ini dapat memberikan manfaat yang berguna bagi kehidupan manusia.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah banyak diterapkan dalam mendukung penelitian mengenai pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Perkembangan ini telah diwujudkan dengan lahirnya terobosan pada teknik budidaya tanaman yang lebih baik, yaitu sistem penanaman secara hidroponik [2]. Hidroponik adalah salah satu teknologi budidaya tanaman dalam lingkungan pertumbuhan yang terkendali, tanpa tanah, dengan substrat atau tanpa substrat, serta pemberian unsur hara (nutrisi) tanaman yang terkendali. Substrat yang dimaksud adalah suatu media padat bukan tanah, misalnya arang, pasir, *rockwool* dan sebagainya. Substrat ini membantu akar untuk selalu memperoleh unsur hara pada konsentrasi yang konsisten. Kelebihan teknik budidaya hidroponik dibanding dengan teknik budidaya yang menggunakan media tanah yaitu dapat dilakukan pada lahan yang kurang mendukung, media air dapat dipergunakan kembali, lebih resisten terhadap hama dan penyakit, kualitas, keberhasilan dan produktifitas lebih tinggi, dan sebagainya [3].

Budidaya secara hidroponik memiliki beberapa metode penanaman dan substrat yang dipergunakan. Salah satu diantaranya yaitu metode *deep water culture*. Metode *deep water culture* memanfaatkan air (tanpa substrat) sebagai media tanam. Metode ini merupakan metode penanaman yang memanfaatkan volume larutan hara yang besar, sehingga dapat menekan fluktuasi konsentrasi larutan hara. Sirkulasi larutan hara pada metode ini tidak dilakukan, sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap ketersediaan energi listrik. Kesederhanaan secara teknis menjadikan metode ini mudah untuk diterapkan [4].

Teknik budidaya hidroponik merupakan teknik budidaya yang mengendalikan secara lebih akurat lingkungan pertumbuhannya dibanding dengan teknik budidaya konvensional yang menggunakan media tanah, karena lingkungan pertumbuhan sangat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Teknik budidaya hidroponik diterapkan di dalam *greenhouse*, agar berbagai parameter lingkungan pertumbuhan yang diinginkan dapat dicapai. Parameter lingkungan pertumbuhan yang dipantau dan dikendalikan pada teknik budidaya hidroponik, yaitu temperatur dan kelembapan udara, temperatur dan kadar oksigen media air, konsentrasi unsur hara pada media air, intensitas cahaya yang diterima tanaman dan sebagainya [5].

Pentingnya mengendalikan dan mempertahankan kondisi lingkungan pertumbuhan pada teknik budidaya ini, maka teknik ini dilengkapi dengan berbagai alat ukur dan mekanisme untuk mempertahankan parameter

¹ Jurusan Teknik Elektro, Universitas Tarumanagara Jakarta

² Jurusan Teknik Elektro, Universitas Atmajaya Jakarta

sesuai rentang nilai (*setpoint*) yang ditetapkan. Berbagai alat ukur parameter dipergunakan untuk memantau parameter lingkungan pertumbuhan tanaman, agar dapat diketahui perlakuan khusus yang perlu diberikan. Alat ukur ini dipergunakan dan nilai hasil pengukurannya dicatat secara periodik. Berdasarkan hasil pemantauan dan pencatatan ini dapat ditentukan perlakuan yang dibutuhkan. Pemantauan, pencatatan dan perlakuan ini pada umumnya dilakukan secara konvensional, yaitu melibatkan tenaga manusia (operator) dengan datang ke lokasi untuk melakukan pemantauan dan pencatatan. Pencatatan nilai parameter lingkungan pertumbuhan merupakan bagian penting yang menyertai pemantauan parameter, karena pencatatan nilai parameter secara periodik dapat menjadi dasar untuk memperoleh kesimpulan dalam sebuah penelitian. Data-data parameter yang direkam dan kesimpulan yang diperoleh dari penelitian tersebut, diharapkan dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian kedepannya.

Pengendalian parameter lingkungan pertumbuhan dapat dilakukan dengan berbagai cara, sebagai contoh yaitu pengendalian parameter temperatur udara. Salah satu cara untuk menurunkan temperatur ruangan *greenhouse* adalah dengan menyemprotkan air dari langit-langit atau membuka ventilasi udara, saat temperatur udara di dalam *greenhouse* melebihi *setpoint* temperatur yang ditetapkan [6].

Informasi untuk mendukung alat ini diperoleh dengan melakukan survei. Survei dilakukan dua kali yaitu survei lapangan dan survei literatur. Survei lapangan dilakukan di Greenhouse Laboratorium Lapangan Institut Pertanian Bogor, kampus IPB Jl. Raya Darmaga, Bogor, Jawa Barat. Survei ini dilakukan pada tanggal 20 November 2010, pukul 10:30 WIB. Survei lapangan di Greenhouse Laboratorium Lapangan Institut Pertanian Bogor bertujuan untuk mengamati serta mempelajari sistem penanaman secara hidroponik beserta parameter lingkungannya. Salah satu metode penanaman secara hidroponik yang terdapat di laboratorium tersebut adalah metode *deep water culture* substrat, yang memanfaatkan hanya media air sebagai media penanamannya. Teknik ini mempergunakan pupuk cair (hara) yang ditambahkan pada media tanam agar tanaman memperoleh nutrisi dan mineral.

Survei literatur dilakukan melalui Internet, yaitu didasarkan pada Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer, Edisi 10 Vol. 6 No. 1, Mei 2008 yang ditulis oleh Herry Suhardiyanto, Heru Sukoco, Sugi Guritman, Yani Prabowo, dan Hariatun Kusyunarti Saptasari dengan judul “Aplikasi PLC untuk Mengendalikan Lingkungan Pertumbuhan Tanaman Krisan pada *Ebb and Flow*”.

Parameter lingkungan yang dipantau dan dipelajari pada metode hidroponik *deep water culture* ini adalah kadar unsur hara serta temperatur dan kelembapan udara. Parameter kadar unsur hara diukur dengan *Electrical Conductivity (EC) meter*, temperatur udara dan kelembapan udara dipantau dengan *psychrometer* dan *psychrometric chart*. *Psychrometer* terdiri dari dua termometer sejenis yaitu *dry-bulb thermometer* dan *wet-bulb thermometer* yang dipasang berdampingan.

Pengendalian masing-masing parameter dilakukan berdasarkan informasi hasil pemantauan. Parameter temperatur dan kelembapan dikendalikan dengan mengaktifkan *exhaust fan* dan *sprinkler* air, sedangkan konsentrasi larutan hara dikendalikan dengan menambahkan air atau larutan hara. Seluruh pemantauan dan pengendalian parameter pada *greenhouse* ini dilakukan secara konvensional (melibatkan operator).

Teknik hidroponik yang diterapkan pada survei yang kedua ini adalah teknik *ebb and flow* tanpa substrat. Teknik ini melakukan pemberian nutrisi dengan merendam akar tanaman dengan larutan nutrisi secara berkala sesuai jadwal. Sistem ini memantau dan mengendalikan derajat keasaman dan temperatur media air, temperatur dan kelembapan udara serta menjadwalkan pemberian unsur hara. Sistem ini mengendalikan parameter sesuai dengan *setpoint* yang telah ditetapkan yaitu pada parameter derajat keasaman dengan memberikan larutan asam atau basa, parameter temperatur media air dengan menurunkan temperatur media air, dan parameter temperatur dan kelembapan udara memanfaatkan pengkabutan untuk menurunkan temperatur dan menaikkan kelembapan. Data hasil pemantauan parameter pada survei ini masih belum direkam.

Berdasarkan hasil survei, sistem yang dibuat adalah sistem yang dapat memantau, merekam, dan mengendalikan parameter lingkungan pertumbuhan secara otomatis. Sistem ini juga menampilkan data hasil rekaman, untuk mendukung analisa terhadap hasil yang diperoleh. Sistem ini diterapkan pada tanaman yang ditanam dengan sistem hidroponik *deep water culture*, berdasarkan pada kelebihan teknis yang dimilikinya.

Parameter lingkungan yang dipantau, direkam dan dikendalikan adalah temperatur dan kelembapan udara, temperatur media air, serta intensitas cahaya. Seluruh nilai parameter yang dipantau, kemudian disimpan pada sebuah memori penyimpanan secara otomatis secara periodik. Data yang disimpan dapat dipindahkan dan ditampilkan di komputer dalam bentuk grafik, untuk membantu menganalisis pengaruh parameter lingkungan pertumbuhan terhadap tumbuh kembang tanaman serta untuk memantau kinerja sistem. Nilai parameter yang melebihi atau kurang dari *setpoint* akan mengaktifkan sistem pengendalian parameter secara otomatis untuk mempertahankan nilai parameter tersebut pada *setpoint* yang ditetapkan oleh *user*.

KAJIAN PUSTAKA

Sistem pemantau dan pengendalian parameter lingkungan pertumbuhan pada tanaman hidroponik dirancang dengan empat fungsi yaitu memantau, merekam, dan mengendalikan parameter lingkungan pertumbuhan tanaman hidroponik berdasarkan *setpoint* yang diberikan, yang berkerja secara otomatis serta dapat

menampilkan data-data hasil rekaman. Parameter-parameter lingkungan pertumbuhan yang dipantau, direkam, dan dikendalikan adalah temperatur dan kelembapan udara, temperatur media air, dan intensitas cahaya. *Setpoint* adalah rentang nilai parameter yang diberikan oleh *user* untuk dijadikan dasar pengendalian parameter lingkungan. Rentang nilai *setpoint* tersebut terdiri dari nilai maksimum untuk intensitas cahaya dan kelembapan udara, batas maksimum dan minimum untuk parameter temperatur media air dan udara. Proses menampilkan data hasil pemantauan dan menentukan *setpoint* melibatkan modul mikrokontroler, *driver* komunikasi serial, dan *user interface* sedangkan proses pemantauan, perekaman, dan pengendalian melibatkan modul-modul sensor, mikrokontroler, *Real Time Clock* (RTC) dan pengendali parameter lingkungan.

Proses menampilkan data hasil pemantauan dan menentukan *setpoint* melibatkan modul mikrokontroler untuk mengirimkan data-data parameter yang diperoleh dan menerima *setpoint* dari modul *user interface*. Modul *user interface* memanfaatkan komputer untuk beroperasi. Komunikasi antara modul mikrokontroler dan *user interface* dilakukan dengan bantuan modul *driver* komunikasi serial. Data-data hasil perekaman yang telah diterima oleh modul *user interface* kemudian akan disimpan dan diolah untuk ditampilkan dalam wujud grafik nilai parameter terhadap waktu. *Setpoint* yang telah diberikan akan disimpan pada memori internal mikrokontroler yang bersifat *nonvolatile*. Hal ini ditujukan agar apabila terjadi hilangnya catu daya, maka saat beroperasi kembali sistem akan berkerja sesuai *setpoint* yang telah diberikan.

Proses pemantauan, perekaman, dan pengendalian melibatkan modul-modul sensor, mikrokontroler, *real time clock*, dan pengendali parameter lingkungan. Modul-modul sensor berfungsi untuk mengukur nilai parameter dan data hasil pengukuran tersebut dikirimkan ke modul mikrokontroler. Modul mikrokontroler berfungsi untuk menerima dan menyimpan data-data dari modul-modul sensor dan mengontrol pengendali parameter lingkungan. Data-data hasil pemantauan terbaru dari modul-modul sensor disimpan pada memori penyimpanan di mikrokontroler. Modul *real time clock* berfungsi untuk menghasilkan data waktu dan tanggal yang berguna untuk melengkapi data waktu dan tanggal diperolehnya data-data hasil pemantauan. Modul-modul pengendali parameter dikontrol oleh modul mikrokontroler, berdasarkan pada algoritma yang membandingkan hasil pemantauan terbaru dengan *setpoint* parameter-parameter lingkungan. Apabila terdapat nilai parameter lingkungan pertumbuhan yang berada di bawah atau di atas *setpoint*, maka sistem akan berkerja untuk mengubah nilai parameter tersebut sehingga

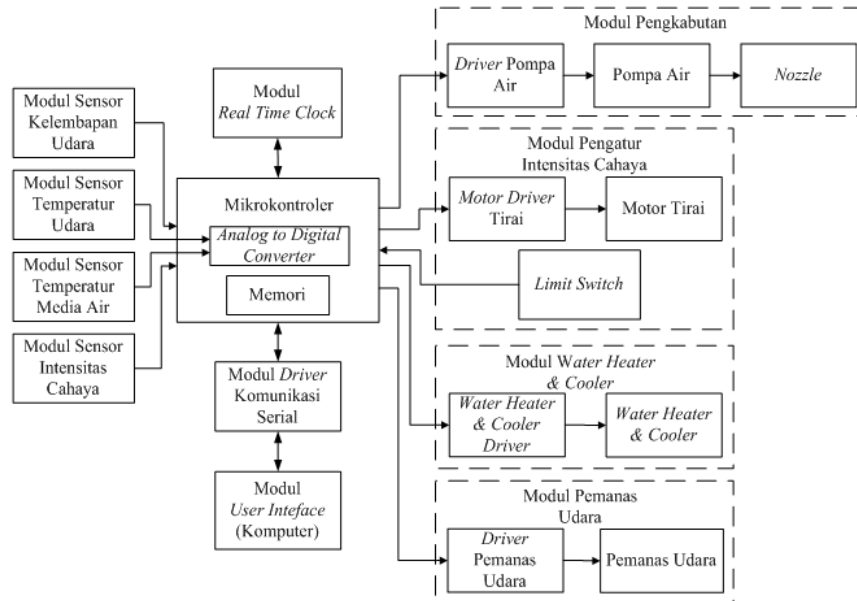
sesuai dengan *setpoint*. Mekanisme menaikkan temperatur udara dilakukan dengan memanfaatkan pemanas udara, menurunkan temperatur udara dan menaikkan kelembapan memanfaatkan pengabutan, menaikkan, dan menurunkan temperatur media air memanfaatkan *thermoelectric*, dan menurunkan intensitas cahaya matahari memanfaatkan *shading net*. Pengendalian yang dilakukan meliputi menaikkan atau menurunkan temperatur media air, menaikkan atau menurunkan temperatur udara ruangan sistem, menaikkan kelembapan relatif udara, dan mengurangi intensitas cahaya.

Pemantauan masing-masing parameter dilakukan dengan mengukur parameter yang bersangkutan menggunakan modul sensor. Temperatur udara ruangan dan media air sistem diukur menggunakan modul sensor temperatur. Kelembapan udara ruangan sistem diukur menggunakan modul sensor kelembapan udara. Intensitas cahaya di dalam ruangan sistem diukur menggunakan modul sensor intensitas cahaya. Modul-modul sensor yang dipergunakan memiliki keluaran dengan tipe datanya masing-masing, yaitu dapat berupa data analog atau digital.

Setiap data hasil pemantauan dikirimkan ke modul mikrokontroler untuk diolah dan disimpan. Data analog yang diterima dikonversi menjadi data digital agar dapat diolah oleh modul mikrokontroler. Konversi data analog menjadi data digital membutuhkan *Analog to Digital Converter* (ADC). ADC yang dipergunakan dalam sistem ini adalah ADC internal yang dimiliki mikrokontroler. Data-data tersebut kemudian disimpan pada memori penyimpanan internal yang dimiliki mikrokontroler. Data-data yang disimpan hanya data-data terbaru saja, karena memori penyimpanan internal mikrokontroler terbatas. Memori penyimpanan internal yang dimiliki mikrokontroler berjenis memori *nonvolatile*, sehingga apabila catu daya terputus, maka data-data telah disimpan akan tetap bertahan.

Diagram Blok Rancangan

Sistem dirancang untuk memantau, merekam, dan mengendalikan parameter lingkungan pertumbuhan sesuai dengan *setpoint* dan data hasil pemantauan ditampilkan di layar komputer. Sistem ini terdiri dari berbagai modul seperti yang ditunjukkan diagram blok sistem secara keseluruhan pada Gambar 1.



■ Gambar 1. Diagram Blok Sistem Keseluruhan

Sensor

Sensor adalah salah satu jenis transduser. Transduser adalah suatu perangkat yang berfungsi untuk mengubah suatu besaran tertentu menjadi besaran lain. Terdapat dua jenis transduser yaitu transduser pasif dan transduser aktif. Transduser pasif adalah transduser yang berkerja dengan memanfaatkan tambahan energi dari luar (catu daya eksternal), sedangkan transduser aktif (*self powered*) adalah transduser yang berkerja tanpa tambahan energi dari luar, tetapi menggunakan energi yang akan diubah itu sendiri.

Sensor mengubah besaran yang diukur misalnya besaran listrik, cahaya, termal, atau mekanis menjadi besaran listrik misalnya beda potensial, arus listrik atau resistansi. Sensor umumnya berupa komponen atau rangkaian elektronika yang dipergunakan untuk mendeteksi atau mengukur suatu besaran misalnya temperatur udara dan mengubahnya menjadi beda potensial. Berdasarkan pada sinyal *output*, sensor dibedakan menjadi sensor analog dan sensor digital. Sensor analog adalah sensor yang menghasilkan *output* berupa sinyal analog, sedangkan sensor digital adalah sensor yang menghasilkan *output* berupa sinyal digital. Adapun sensor-sensor yang digunakan adalah:

1. Sensor Intensitas Cahaya

Sensor intensitas cahaya adalah suatu transduser pasif yang mengubah besaran intensitas cahaya yang diterima oleh bidang *receptor* menjadi besaran listrik, misalnya tegangan, arus listrik, atau resistansi. Terdapat beberapa jenis sensor intensitas cahaya, diantaranya yaitu *photovoltaic* dan *photoconductive*. *Photovoltaic* adalah sensor intensitas cahaya yang mengubah secara langsung energi cahaya menjadi energi listrik. *Photovoltaic* memanfaatkan sel silikon (dioda) dengan PN *junction* sebagai bidang *receptor* intensitas cahaya. Energi cahaya akan menyebabkan elektron-elektron pada sel silikon bergerak. Energi yang dihasilkan dari pergerakan elektron tersebut akan menghasilkan tegangan DC. Berdasarkan pada cara kerja tersebut, maka *photovoltaic* dapat menghasilkan tegangan yang merepresentasikan intensitas cahaya yang diterimanya. Contoh *photovoltaic* diantaranya yaitu *solar cell* dan *photodiode*.

Jenis lain sensor intensitas cahaya adalah *photoconductive*. *Photoconductive* adalah sensor intensitas cahaya yang berkerja mengubah intensitas cahaya menjadi besaran resistansi. Nilai resistansi *photoconductive* akan meningkat saat intensitas cahaya berkurang, dan terjadi sebaliknya dengan intensitas cahaya yang meningkat. Hal ini terjadi karena *photoconductive* tersusun dari material yang memiliki respon terhadap intensitas cahaya yang diterimanya, misalnya *cadmium-sulfide*. Salah satu contoh *photoconductive* yaitu *light dependent resistance (LDR)*.

Intensitas cahaya dapat diukur dengan dua jenis sensor intensitas cahaya, yaitu sensor yang berjenis *photovoltaic* atau *photoconductive*. Sensor yang dipergunakan adalah TSL230 yang berjenis *photovoltaic*. TSL230 adalah sebuah *programmable sensor* yang mengubah besaran intensitas cahaya yang diterimanya menjadi *pulse train* atau *square wave* (dengan *duty cycle* 50%), yang frekuensinya proporsional terhadap intensitas cahaya yang diterimanya. TSL230 berkerja dengan *input* dan *output Transistor Transistor Logic (TTL)*.

TSL230 terdiri dari sebuah *silicon photodiode* dan *current to frequency converter* yang dapat dikonfigurasi dan dikemas menjadi sebuah *monolithic Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) Integrated Circuit (IC)*.

TSL230 dapat dikonfigurasi dengan sensitifitas dan *scaling* tertentu. Sensitifitas TSL230 dapat dipilih dalam tiga pilihan, yaitu 1x, 10, dan 100x dengan mengatur konfigurasi *input pin* S0 dan S1 yang terdapat di IC. Konfigurasi nilai sensitifitas akan mempengaruhi luas efektif dari *photodiode* dalam menerima intensitas

cahaya. Nilai sensitifitas yang lebih besar akan menghasilkan frekuensi *output* yang lebih besar dan teliti, sebagai contoh dengan menggunakan sensitifitas 100x akan menghasilkan frekuensi *output* yang sepuluh kali lebih besar (satu digit lebih banyak) dan lebih teliti dibanding dengan sensitifitas 10x dan seratus kali lebih besar (dua digit lebih banyak) dibandingkan dengan sensitifitas 1x. Dengan sensitifitas yang lebih besar akan menghasilkan frekuensi *output* yang lebih sensitif terhadap intensitas cahaya yang diterimanya, sedangkan dengan sensitifitas yang lebih kecil dapat mengukur intensitas cahaya yang lebih besar.

TSL230 dapat dikonfigurasi dengan *scaling* (pembagi), berfungsi untuk membagi frekuensi *output* dengan sebuah nilai, sehingga frekuensi *output* yang diperoleh lebih kecil. Hal ini mempermudah dalam menyesuaikan dengan perangkat yang berfungsi untuk membaca frekuensi *output* yang dihasilkan. Nilai *scaling* ditentukan dengan mengkonfigurasi *input pin* S2 dan S3 yang terdapat pada IC. Terdapat empat pilihan nilai *scaling* yang dapat dipilih yaitu 1, 2, 10, dan 100. Nilai *scaling* 1 akan menghasilkan frekuensi *full scale*, dengan nilai *scaling* 2 akan menghasilkan frekuensi setengah dari frekuensi *full scale*, dengan nilai *scaling* 10 akan menghasilkan frekuensi sepersepuluh dari frekuensi *full scale*, dan dengan nilai *scaling* 100 akan menghasilkan frekuensi seperseratus dari frekuensi *full scale*.

TSL230 dipergunakan sebagai sensor yang mengukur intensitas sinar matahari karena fleksibilitas konfigurasi *output* dalam pengukuran intensitas cahaya. Hal ini juga didukung dengan kompatibilitas TSL230 untuk terhubung dengan mikrokontroler tanpa membutuhkan perangkat tambahan.

2. Sensor Temperatur

Sensor temperatur adalah perangkat yang mengubah sebuah besaran suhu (temperatur) yang diukur menjadi besaran listrik. Sensor temperatur dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan material penyusun dan cara kerjanya, diantaranya yaitu *thermocouple*, *thermistor*, *resistance temperature detector* (RTD), dan *semiconductor*.

Thermocouple adalah salah satu sensor yang sering dipergunakan secara luas pada penelitian maupun industri. *Thermocouple* tersusun dari dua jenis logam berbeda yang disatukan pada kedua ujungnya. Berdasarkan konstruksi seperti ini, *thermocouple* akan menghasilkan tegangan *thermoelectric* diantara kedua kutubnya.

Tegangan yang dihasilkan bergantung pada prinsip efek *seebeck*, yaitu dihasilkannya *electromotive force* (EMF) yang disebabkan selisih temperatur antara ujung-ujung *thermocouple*. *Thermocouple* termasuk transduser aktif (*self powered*), sederhana dan dapat mengukur rentang temperatur yang lebar.

Sensor temperatur selanjutnya adalah *thermistor* (*thermal resistor*). *Thermistor* adalah sensor temperatur yang sensitif terhadap perubahan temperatur dan bekerja berdasarkan tahanan. *Thermistor* umumnya dipergunakan untuk pengukuran temperatur yang memiliki rentang relatif sempit dibandingkan dengan jenis sensor temperatur lainnya, namun amat sensitif. Perubahan tahanan pada *thermistor* berbanding terbalik dengan temperatur yang diukur. Pengukuran temperatur dengan *thermistor* dilakukan dengan memberikan sedikit *direct current* (DC) dan mengukur beda potensial yang diperoleh.

Sensor temperatur yang juga bersifat resistif adalah *resistance temperature detector* (RTD). *Resistance temperature detector* adalah sebuah sensor yang terbuat dari koil atau *film* berbahan logam (umumnya platina), untuk RTD *film* dan untuk RTD koil. RTD bekerja berdasarkan pada prinsip bahwa resistansi sebuah logam bervariasi secara proporsional terhadap temperatur. Semakin tinggi temperatur yang diukur sensor, maka resistansi bahan logam RTD akan semakin tinggi, berlaku juga sebaliknya. RTD dapat mengukur rentang temperatur yang lebar, memiliki respon yang cepat terhadap perubahan temperatur, dan memiliki tingkat keakuratan dan stabilitas yang baik untuk jangka waktu panjang. Kekurangan RTD adalah *initial cost* yang tinggi, keakuratan yang rendah terhadap lingkungan yang memiliki getaran (vibrasi) tinggi, dan memiliki rentang pengukuran temperatur yang lebih sempit dibandingkan *thermocouple*.

Sensor yang terakhir adalah termometer *semiconductor*. Termometer *semiconductor* adalah salah satu sensor temperatur yang diproduksi dalam bentuk *integrated circuit* (IC) yang membutuhkan catu daya eksternal untuk menghasilkan *output*. Termometer ini memiliki banyak tipe, ukuran, dan model. Sensor temperatur *semiconductor* disusun dari *semiconductor diode* yang berkarakteristik sensitif terhadap temperatur. Rentang pengukuran temperatur dari termometer *semiconductor* lebih sempit dibandingkan *thermocouple* dan RTD, namun sensor ini sedikit lebih akurat, lebih murah dan lebih mudah dihubungkan dengan perangkat elektronik lainnya termasuk mikrokontroler. Penggunaan utama sensor ini adalah untuk pengukuran temperatur diantara temperatur minimum -25 °Celsius hingga maksimal 200 °Celsius.

LM35 adalah salah satu sensor temperatur yang berjenis *semiconductor thermometer*. LM35 menghasilkan *output* tegangan yang proporsional secara linier terhadap temperatur yang diukur dalam skala Celsius yaitu berubah 10,0 mV/°C. LM35 memiliki tiga *pin* yaitu *pin* Vs sebagai *input* catu daya yang memiliki rentang operasi antara 4 V_{DC} hingga 30 V_{DC} dan arus listrik kurang dari 60µA, *pin* ground berfungsi sebagai referensi tegangan Vs, dan *pin* *output* yang berfungsi sebagai *pin* yang menunjukkan hasil pengukuran.

LM35 menghasilkan *output* yang merepresentasikan nilai temperatur (dalam °Celsius) per seratus tanpa bergantung pada nilai catu daya yang diberikan. Sebagai contoh, saat sensor mengukur temperatur sebesar 25 °C, maka *output* yang dihasilkan bernilai ± 0,25 volt dan meningkat 10,0 mV saat temperatur meningkat 1

°C. LM35 dipilih sebagai sensor temperatur karena LM35 memiliki *output* dalam skala Celsius yang proporsional dan linier terhadap perubahan temperatur, mudah dalam penggunaannya, dan relatif murah serta mudah ditemukan dipasaran dibanding sensor jenis lainnya.

3. Sensor Kelembapan

Kelembapan udara adalah besaran yang menyatakan jumlah kandungan uap air di udara. Terdapat beberapa besaran yang merepresentasikan kelembapan udara yaitu kelembapan absolut, kelembapan spesifik, dan kelembapan relatif. Kelembapan absolut adalah massa uap air di setiap satuan volume udara. Kelembapan absolut dinyatakan dalam massa per volume (Kg/m^3). Kelembapan spesifik adalah perbandingan antara massa uap air di udara dengan massa udara kering. Kelembapan spesifik biasanya dinyatakan tanpa satuan atau dinyatakan dengan gram per kilogram (g/Kg). Kelembapan relatif adalah perbandingan antara kandungan uap air di udara dengan kelembapan absolut maksimum yang dapat dikandung oleh udara pada temperatur udara tertentu. Kelembapan relatif dinyatakan dalam persen (%RH). Kelembapan relatif bergantung pada temperatur udara, karena setiap temperatur tertentu memiliki nilai kelembapan absolut yang berbeda. Hubungan antara kelembapan relatif dengan kelembapan absolut adalah dapat terdapatnya kelembapan absolut yang sama besar pada 80 %RH pada temperatur udara 28 °C dan pada 40 %RH pada temperatur udara 37 °C.

Kelembapan relatif umum dipergunakan untuk menyatakan kelembapan udara baik untuk perakiraan cuaca maupun pada tanaman. Hal ini dikarenakan kelembapan relatif menyatakan kelembapan yang mempengaruhi makhluk hidup termasuk tanaman. Terdapat dua jenis sensor kelembapan relatif udara, yaitu sensor kelembapan yang bersifat kapasitif dan resistif. Sensor kelembapan yang bersifat kapasitif merepresentasikan kelembapan relatif yang diukurnya dalam besaran kapasitas kapasitor (Farad). Sensor kelembapan yang bersifat resistif merepresentasikan kelembapan relatif yang diukurnya dalam besaran tahanan (Ohm).

Sensor kelembapan yang bersifat kapasitif memanfaatkan plat konduktif pada lapisan dielektrik, yang merupakan sebuah kapasitor yang sensitif terhadap kandungan air di udara. Nilai kapasitas sensor berubah seiring dengan konstanta dielektrik yang berubah sesuai kelembapan relatif udara yang diukurnya. Nilai kapasitas kapasitor sensor akan meningkat apabila kelembapan relatif meningkat dan berlaku juga sebaliknya. Sensor kelembapan kapasitif, umumnya dirangkai dalam sebuah rangkaian osilator yang menghasilkan *output* berupa frekuensi yang besarnya bergantung pada nilai kapasitas kapasitor dari sensor. Sensor kelembapan kapasitif memiliki fleksibilitas yang lebih baik dibanding sensor kelembapan resistif, karena sensor kelembapan kapasitif dapat ditempatkan di lingkungan agresif seperti udara yang mengandung klorin disekitar kolam renang dan amonia di sekitar peternakan.

Sensor kelembapan yang bersifat resistif berkerja dengan memanfaatkan material yang sensitif terhadap kelembapan yang terintegrasi dengan elektroda. Sensor ini memiliki nilai tahanan yang berubah secara eksponensial sesuai dengan kelembapan relatif yang diukurnya. Nilai tahanan sensor akan bertambah apabila kelembapan relatif berkurang, dan berlaku sebaliknya saat tahanan sensor berkurang maka kelembapan relatif meningkat. Sensor kelembapan resistif umumnya dirangkai dalam rangkaian *voltage divider* yang menghasilkan *ouput* tegangan yang bergantung pada nilai tahanan sensor.

SHT11 adalah salah satu sensor yang dapat mengukur kelembapan relatif udara dan juga temperatur udara. SHT11 adalah sensor yang berbentuk *Surface Mount Device* (SMD) yang dilengkapi dengan *signal processing* dan menyediakan *output* digital 8 atau 12 bit yang telah terkalibrasi. SHT11 memanfaatkan sensor kelembapan yang berjenis kapasitif, sehingga memiliki akurasi yang baik dibanding dengan jenis resistif. SHT11 memiliki rentang catu daya antara 2,5 V_{DC} hingga 5,5 V_{DC} . SHT11 dapat mengukur kelembapan antara 0 %RH hingga 100 %RH dengan ketelitian hingga 0,05 %RH dengan selang waktu respon terhadap perubahan 8 detik. SHT11 mengirimkan data pengukuran secara serial kepada mikrokontroler.

4. Sensor Sentuhan *Limit Switch*

Sensor kontak (*mechanical limit switch*) atau lebih dikenal dengan *limit switch* adalah salah satu transduser pasif yang mengubah besaran mekanis (sentuhan) menjadi besaran listrik (tegangan). *Limit switch* berkerja dengan memutuskan atau menghubungkan arus listrik ketika *limit switch* ditekan. *Limit switch* umumnya memiliki tiga buah *pin* yaitu *normally closed* (NC), *ground* atau *common*, dan *normally open* (NO). *Normally closed pin* adalah *pin* yang terhubung (*closed / short*) dengan *common pin* saat *limit switch* tidak ditekan, sedangkan *normally open pin* adalah *pin* yang terhubung dengan *common pin* saat *limit switch* ditekan.

Real Time Clock

Real time clock (RTC) adalah suatu perangkat yang dikhusus menghitung detik, menit, jam, tanggal, bulan, dan tahun. RTC adalah rangkaian yang dipergunakan untuk mempertahankan jalannya waktu. RTC dipergunakan pada jam digital, komputer, mesin-mesin industri dan perangkat yang membutuhkan pewaktu. Rangkaian RTC terdiri dari *chip* RTC dan *crystal*. RTC berkerja dengan dengan mempertahankan jalannya waktu yang diberikan kepada *chip* RTC, dengan cara menghitung detik demi detik yang berlangsung sesuai dengan

clock yang diperoleh dari *crystal* dan menyimpannya di *register chip* RTC. RTC dapat terhubung dengan berbagai perangkat dengan *serial two wire communication* (I2C).

Real time clock dipergunakan pada perancangan ini bertujuan untuk mengetahui tanggal dan waktu secara tepat. *Real time clock* DS1307 dipilih karena DS1307 umum dipergunakan, mudah ditemukan dan didukung oleh protokol untuk mempergunakannya, serta dapat berkomunikasi secara langsung dengan mikrokontroler secara *two wire serial communication* (I2C).

Komunikasi Serial

Komunikasi antara berbagai perangkat elektronik sangat dibutuhkan, karena dengan adanya komunikasi maka perangkat-perangkat elektronika dapat bertukar informasi. Komunikasi antara perangkat pengendali (mikrokontroler) dengan komputer amat membantu, karena informasi yang dimiliki oleh mikrokontroler dapat ditampilkan pada layar komputer dan *user* (pengguna) dapat memberikan perintah melalui komputer. Komunikasi antara komputer dengan mikrokontroler dapat dilakukan secara serial dan paralel.

Komunikasi paralel adalah komunikasi dengan pengiriman data yang dilakukan serempak, untuk sejumlah bit melalui jalur komunikasi yang dipergunakan. Komunikasi paralel dapat langsung dilakukan tanpa membutuhkan perangkat tambahan. Komunikasi paralel dapat dilakukan dengan menghubungkan paralel *port* (*printer port*) yang terdapat pada komputer dengan *pin-pin* pada mikrokontroler. Dibandingkan dengan komunikasi serial, komunikasi paralel hanya membutuhkan kabel yang lebih banyak dan memiliki selang waktu pengiriman data yang lebih singkat.

Komunikasi serial adalah komunikasi yang dilakukan dengan mengirimkan data satu per satu bit melalui jalur komunikasi. Komunikasi serial dengan komputer dapat dilakukan dengan dua jenis *port*, yaitu dengan *Universal Serial Bus port* (USB) dan *D-Type 9 pin connector* (DB-9). Kedua jenis *port* tersebut memiliki prinsip kerja yang relatif sama, perbedaannya hanya pada *level* tegangan dari sinyal yang dikirim dan diterima. Komunikasi serial dengan USB *port* memanfaatkan *level* tegangan 0 V_{DC} hingga 0,3 V_{CD} untuk logika *low* dan 2,8 V_{DC} hingga 3,6 V_{DC} untuk logika *high*, sedangkan komunikasi serial dengan DB-9 berkerja pada *level* tegangan -3 V_{DC} hingga -25 V_{DC} untuk logika *low* dan +3 V_{DC} hingga +25 V_{DC} untuk logika *high*. Komunikasi serial dapat dilakukan antara komputer dengan mikrokontroler dengan bantuan *driver* komunikasi serial. *Driver* komunikasi serial dibutuhkan karena serial *port* pada komputer berkerja dengan sinyal *Recommended Standard number 232* (RS-232) untuk DB-9 dan sinyal USB, sedangkan mikrokontroler berkerja dengan sinyal *Transistor-Transistor Logic* (TTL). Hal ini dikarenakan sinyal RS232 atau USB berkerja pada *level* tegangan yang berbeda dengan mikrokontroler yang berkerja pada *level* tegangan 0 V_{DC} untuk logika *low* dan 5 V_{DC} untuk logika *high*. Dibandingkan komunikasi paralel, komunikasi serial menggunakan lebih sedikit pengkabelan, dan komunikasi DB-9 memiliki jarak transmisi yang lebih jauh dan lebih kebal terhadap *noise* dibanding komunikasi paralel dan USB.

Komunikasi serial dengan komputer mempergunakan *D-Type 9 pin connector* (DB-9). Pada dasarnya hanya 3 *pin* yang dipergunakan pada konektor DB9 agar dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler, yaitu *pin transmitter*, *receiver* dan *ground*. Komunikasi serial dengan USB pada dasarnya sama dengan komunikasi DB-9, yaitu hanya membutuhkan 3 *pin* yang terdiri dari D+, D-, dan.

Komunikasi antara komputer dan modul mikrokontroler dapat dilakukan dengan dua cara yaitu komunikasi serial dan paralel. Perancangan ini memanfaatkan komunikasi serial RS232 karena dibanding komunikasi paralel, komunikasi serial memiliki jarak transmisi yang lebih jauh serta lebih kebal terhadap *noise*. Hal ini dikarenakan transmisi data berkerja pada sinyal RS232 yaitu pada *level* tegangan -3 V_{DC} hingga -25 V_{DC} untuk logika *low* dan +3 V_{DC} hingga +25 V_{DC} untuk logika *high* sedangkan sinyal *Transistor-Transistor Logic* (TTL) berkerja pada *level* tegangan 0 V_{DC} untuk logika *low* dan 5 V_{DC} untuk logika *high*. Komunikasi serial antara komputer dan modul mikrokontroler dapat dilakukan dengan bantuan sebuah penerjemah (*driver*). *Driver* dibutuhkan karena komunikasi antara komputer dan mikrokontroler tidak dapat dilakukan secara langsung. Hal ini dikarenakan mikrokontroler berkerja dengan sinyal TTL, sedangkan *port* serial pada komputer berkerja dengan sinyal RS232. MAX232 adalah salah satu *driver* yang dapat menjembatani komunikasi serial antara mikrokontroler dan komputer.

MAX232 dapat menerima sinyal TTL dari mikrokontroler dan menerjemahkannya menjadi sinyal RS232 yang dapat dimengerti oleh komputer melalui *port* serial. Hal yang sama juga berlaku untuk pengiriman sinyal dari komputer ke mikrokontroler, yaitu sinyal RS232 diterima dari komputer dan diterjemahkan menjadi sinyal TTL yang dimengerti oleh mikrokontroler. MAX232 dipilih sebagai *driver* komunikasi serial, karena MAX232 umum dipergunakan untuk menjembatani komunikasi serial antara mikrokontroler dengan komputer.

User interface (antarmuka pengguna) adalah sebuah perangkat yang menjadi penghubung antara dua bagian agar dapat berinteraksi satu sama lain, dalam hal ini adalah antara manusia (pengguna) dengan sistem (perangkat). Fungsi dari *user interface* adalah untuk mengontrol dan sebagai umpan balik (*feedback*) kepada pengguna untuk memutuskan suatu hal. Terdapat beberapa bahasa pemrograman yang ideal untuk dipergunakan merancang *user interface*, yaitu Microsoft Visual Basic 6.

Microsoft Visual Basic 6 merupakan *software* bahasa pemrograman Basic yang dilengkapi dengan *Integrated Development Environment* (IDE). Visual Basic 6 mendukung *graphical User Interface* (GUI) dengan metode *drag and drop* dalam membuat tampilan aplikasi secara visual, sehingga Visual Basic merupakan salah satu bahasa pemrograman yang ideal dan mudah untuk dipergunakan membuat tampilan *user interface* termasuk membuat grafik.

Mikrokontroler

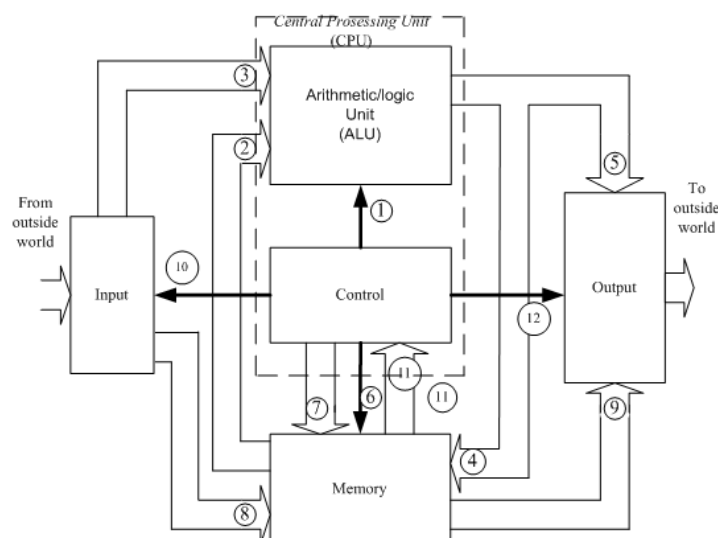
Mikrokontroler pada dasarnya merupakan sebuah komputer mini yang memiliki fungsi utama sebagai pengatur tugas pada sistem, serta melakukan operasi-operasi kontrol, matematis, tugas-tugas diagnostik, manipulasi data, dan sebagainya. Berdasarkan arsitekturnya, terdapat dua jenis arsitektur mikrokontroler yaitu arsitektur *Complex Instruction Set Computers* (CISC) dan *Reduced Instruction Set Computers* (RISC).

Arsitektur CISC adalah arsitektur komputer yang terlebih dahulu ditemukan, dimana setiap instruksi akan menjalankan beberapa operasi tingkat rendah (seperti pengambilan informasi dari memori, operasi aritmatika, dan penyimpanan ke dalam memori). RISC adalah arsitektur komputer modern dengan instruksi-instruksi dan jenis eksekusi yang lebih sederhana, yaitu dengan mengeksekusi instruksi yang sungguh-sungguh dipergunakan. Hal ini menyebabkan arsitektur RISC memiliki kecepatan operasi yang lebih tinggi dalam mengeksekusi sebuah instruksi dibandingkan dengan CISC. Contoh mikrokontroler CISC adalah MCS-51 dan PIC, sedangkan untuk RISC adalah Atmel AVR.

Mikrokontroler adalah sebuah *chip* terintegrasi, yang terdiri dari sebuah *Central Processing Unit* (CPU) dengan memori, dan perangkat *input/output* yang disertai dengan *peripheral* lainnya misalnya seperti *timer*, *counter*, atau *analog to digital converter* (ADC). CPU merupakan pengendali dari seluruh operasi pada mikrokontroler. Menurut fungsinya, CPU dibagi menjadi tiga bagian. Bagian CPU yang pertama yaitu *control unit* (CU). *Control unit* berfungsi untuk mengontrol aliran informasi maupun instruksi di dalam CPU dan mengendalikan seluruh aktifitas bagian lain di dalam CPU, yaitu *Arithmetic Logic Unit* (ALU), *input/output*, dan memori. Bagian CPU yang kedua yaitu ALU. ALU berfungsi untuk melakukan operasi aritmatika dan logika. Bagian CPU ketiga yaitu *register*, merupakan tempat penyimpanan kecil berkecepatan akses tinggi, dan dipergunakan untuk menyimpan data dan instruksi yang sedang diproses oleh ALU. *Register* adalah memori ini bersifat sementara, biasanya digunakan untuk menyimpan data saat diolah ataupun data untuk pengolahan selanjutnya.

Memori pada mikrokontroler dapat terdiri dari beberapa jenis memori, yaitu *random access memory* (RAM), *read only memory* (ROM), *erasable programable read only memory* (EPROM) atau *erasable programable read only memory* (EEPROM). RAM adalah *general purpose memory* yang dapat menyimpan data dan program. RAM bersifat *volatile*, yang berarti saat memori kehilangan catu daya maka isi dari memori akan hilang. ROM adalah memori yang di dalamnya sudah memiliki besaran yang diberikan oleh produsen yang tidak dapat diganti namun dapat dibaca. EPROM adalah memori yang menyimpan informasi program. EEPROM adalah memori yang menyimpan informasi program yang bekerja lebih cepat dibanding EPROM. Informasi yang terdapat pada ROM, EPROM dan EEPROM bersifat *nonvolatile*, yang berarti saat memori kehilangan catu daya maka isi dari memori akan bertahan.

Diagram interkoneksi dasar mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 2. Pada gambar tersebut terdapat dua jenis tanda panah, tanda panah yang besar digunakan untuk menunjukkan data atau informasi, sedangkan tanda panah yang kecil menunjukkan sinyal kontrol. Setiap tanda panah tersebut diberi nomor agar lebih mudah dipahami.



■ Gambar 2 Diagram Interkoneksi Dasar Mikrokontroler [7]

Operasi yang dilakukan ALU berdasarkan instruksi dari *control unit* (tanda panah 1). Data yang dioperasikan oleh ALU didapat dari unit memori (tanda panah 2) atau dari unit *input* (tanda panah 3), hasil dari operasi ALU dapat di transfer ke unit memori untuk disimpan (tanda panah 4) atau ke unit *output* (tanda panah 5).

Memori menyimpan sejumlah *binary digit*. Memori berlaku juga sebagai penyimpanan sementara maupun hasil akhir dari operasi *arithmetic* (tanda panah 4). Operasi dari memori dikontrol oleh *control unit* (tanda panah 6), sinyal kontrol dapat berupa operasi baca maupun tulis. Penempatan lokasi dalam memori diakses oleh *control unit* dimana diberikan kode alamat yang sesuai (tanda panah 7). Informasi dapat ditulis dalam memori dari ALU atau *unit input* (tanda panah 8) dan dapat dibaca dari memori ke ALU (tanda panah 2) atau *output* (tanda panah 9).

Input berasal dari informasi dan data dari luar untuk dimasukkan ke dalam mikrokontroler dan ditempatkan dalam memori (tanda panah 8) atau ke ALU (tanda panah 3). *Control unit* memberikan perintah kemana akan dikirimnya informasi *input* (tanda panah 10). *Output* digunakan untuk mentransfer data dan informasi dari mikrokontroler ke luar mikrokontroler. Peralatan *output* memberi perintah dari unit kontrol (tanda panah 12) dan dapat menerima data dari memori (tanda panah 9) atau dari ALU (tanda panah 5), yang datanya disesuaikan untuk keperluan eksternal.

Unit kontrol mengambil instruksi dari memori dengan mengirimkan alamat (tanda panah 7) dan membaca perintah (tanda panah 6) ke memori. Instruksi tersebut disimpan dalam lokasi memori yang kemudian ditransfer ke *control unit* (tanda panah 11). Kalimat instruksi ini berupa kode biner yang kemudian dikodekan dengan *logic circontrol unititry* dalam unit kontrol untuk menentukan instruksi mana yang sedang dipanggil.

ATmega16 dipergunakan pada alat ini karena ATmega16 memiliki fitur-fitur yang dibutuhkan untuk mengontrol dan berkomunikasi dengan modul-modul lainnya. Atmega16 dilengkapi dengan *Analog to Digital Converter* (ADC) untuk membaca data analog dari sensor temperatur, komunikasi *Universal Synchronous Asynchronous serial Receiver and Transmitter* (USART) untuk berkomunikasi dengan komputer, *two wire serial communication* (I2C) untuk berkomunikasi dengan *real time clock*, *timer/counter* untuk melakukan pembacaan sensor intensitas cahaya, *channel Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mengendalikan motor DC, EEPROM untuk menyimpan data hasil pemantauan, dan memiliki sejumlah 32 *input/output pin* untuk pengontrolan modul pengontrol parameter lingkungan.

Motor

Motor adalah sebuah perangkat yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Secara umum motor terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu rotor, stator, komutator dan sikat. Sikat (*brushes*) adalah terminal yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dari catu daya (*motor driver*) ke komutator. Komutator adalah konektor yang berfungsi untuk mengalirkan catu daya ke lilitan baik pada saat mulai bergerak maupun pada saat berotasi. Rotor adalah bagian bagian dinamis (bergerak) dari motor berupa lilitan kawat tembaga pada sebuah *shaft*. Stator adalah bagian statis dari motor yang terdiri dari magnet permanen dengan kutub utara dan kutub selatan yang berfungsi untuk menghasilkan medan magnet.

Cara kerja motor seperti yang diperlihatkan pada motor pada Gambar 2.19, diawali dengan catu daya yang diberikan pada sikat. Sikat akan menyalurkan arus listrik ke komutator. Komutator berfungsi untuk menyalurkan arus listrik ke lilitan tembaga. Arus (i) yang mengalir pada lilitan tembaga ditambah dengan adanya medan magnet (B) maka dihasilkan gaya (F) dengan arah tertentu. Gaya tersebut akan menyebabkan rotor berotasi dengan arah tertentu, sesuai dengan polaritas yang diberikan pada sikat. Penerapan polaritas yang berlawanan akan mengakibatkan rotor berotasi dengan arah sebaliknya.

Motor terdiri dari bermacam-macam jenis. Motor DC adalah salah satu jenis motor yang berkerja dengan catu daya arus searah (*Direct Current / DC*). Motor DC memiliki kecepatan rotasi dan torsi yang berbeda-beda. Umumnya motor DC dapat diintegrasikan dengan *gearbox*. *Gearbox* tersusun dari roda-roda gigi yang berfungsi untuk mengubah kecepatan rotasi maupun torsi. Umumnya *gearbox* dikonfigurasi untuk meningkatkan torsi, yang secara otomatis akan menurunkan kecepatan rotasi.

Motor DC yang dipergunakan adalah motor DC yang sudah dilengkapi dengan *gearbox*. *Motor DC gearbox* berfungsi untuk mengerakkan bingkai tirai pengatur intensitas cahaya matahari. Motor DC *gearbox* dipergunakan karena motor DC *gear box* memiliki torsi yang cukup untuk mengerakkan bingkai tirai dan relatif mudah di pergunakan. Motor DC yang dipergunakan memiliki spesifikasi dengan kecepatan 50 RPM, torsi 2 Kg.cm, 0,5 amper, dan tegangan kerja $12V_{DC}$.

Pompa Air

Pompa air adalah sebuah perangkat yang berfungsi untuk memindahkan (memompa) air. Pompa air berkerja dengan berbagai prinsip dan cara kerja. Salah satu prinsip dan cara kerja pompa air yaitu pompa sentrifugal. Prinsip pompa air ini memanfaatkan gaya sentrifugal untuk memompa air. Pompa air ini memanfaatkan motor untuk menciptakan rotasi pada daun kipas. Rotasi daun kipas akan menghasilkan gaya sentrifugal pada air, sehingga air akan terdorong ke sisi luar dan masuk ke saluran keluaran.

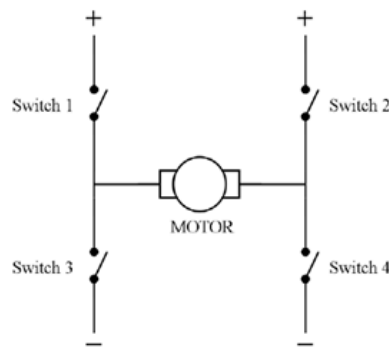
Pompa air dan *nozzle* dipergunakan untuk menghasilkan butiran halus air (embun) untuk menurunkan temperatur udara di dalam ruangan dari sistem yang dirancang. Pompa air yang dipergunakan adalah pompa air yang memanfaatkan motor DC dengan catu daya 12 volt 0,4 amper. Pompa air ini dipergunakan kerana pompa ini dapat memompa air menuju *nozzle*. *Nozzle* air yang dipergunakan adalah *nozzle* air dengan diameter saluran keluaran 0,2 milimeter (mm). *Nozzle* air 0,2 mm dipergunakan kerana *nozzle* air dengan ukuran 0,2 mm adalah *nozzle* air dengan ukuran yang terkecil, sehingga dapat menghasilkan butiran air yang kecil.

Driver pompa air, *water heater & cooler*, dan pemanas udara memanfaatkan *relay*. *Relay* dipergunakan sebagai *driver*, karena *relay* dapat menyalurkan arus dan tegangan yang relatif besar dan *relay* dapat dikontrol oleh mikrokontroler dengan tambahan rangkaian sederhana. *Relay* yang dipergunakan adalah *relay* OMRON G2R-2A, yang memiliki spesifikasi tegangan 30 V_{DC} kuat arus listrik 5 amper dan tegangan 250 V_{AC} kuat arus listrik 5 amper untuk kontaktor, serta tegangan 12 V_{DC} dan kuat arus listrik 50 mA untuk mengaktifkan koil.

Motor Driver

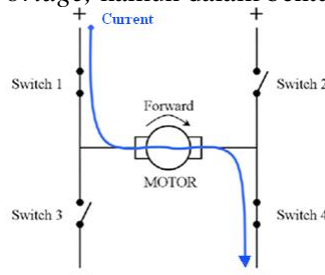
Motor driver adalah sebuah perangkat keras yang berfungsi untuk mengendalikan motor sesuai yang diperintahkan oleh mikrokontroler. *Motor driver* dipergunakan karena untuk mengerakkan motor membutuhkan arus listrik dan tegangan tertentu, sedangkan arus listrik dan tegangan yang dimiliki oleh perangkat pengendali (mikrokontroler) tidak cukup untuk mengerakkan motor. Selain sebagai pemberi arus listrik dan tegangan, *motor driver* juga dapat mengatur arah rotasi dan kecepatan rotasi.

Motor driver sebagai penjemabatan antara mikrokontroler dan motor (khususnya motor dengan *direct current*), adalah berupa rangkaian H-*bridge* atau dalam bentuk *integrated circuit* (IC). H-*bridge* adalah rangkaian yang tersusun dari komponen-komponen *switching* yang dirangkai menyerupai huruf H dengan motor berada di tengahnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

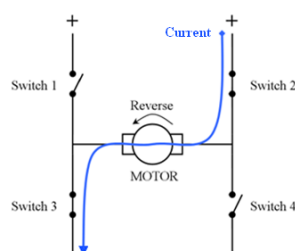


■ Gambar 3. Rangkaian Dasar H-*bridge* [8]

Rangkaian H-*bridge* tersusun dari komponen *switching* yang umumnya berupa transistor. Arah rotasi motor DC dikendalikan dengan mengatur *switch* untuk menentukan polaritas arus listrik yang menuju motor. Mekanisme pengendalian arah rotasi motor ditunjukkan pada Gambar 4 untuk arah rotasi *forward* (*clock wise*) dan Gambar 5 untuk arah rotasi *reverse* (*counter clock wise*). *Motor driver* yang berupa IC pada dasarnya memiliki prinsip kerja yang sama dengan H-*bridge*, namun dalam bentuk yang kompak (*integrated circuit*).



■ Gambar 4. Kofigurasi Switch H-*Bridge* dengan Arah Rotasi *Forward* [8]



■ Gambar 5. Kofigurasi Switch H-*Bridge* dengan Arah Rotasi *Reverse* [8]

Motor driver L293D dipergunakan karena L293D dapat dikendalikan dengan sinyal TTL dan dapat menyalurkan arus dan tegangan hingga maksimal $36 V_{DC}$ dan 1,2 amper yang cukup untuk mengendalikan motor DC yang dipergunakan. L293D dikendalikan dengan hanya memanfaatkan tiga sinyal, yaitu *pin input1*, *input2*, dan *enable1*. *Pin input1* dan *input2* berfungsi untuk menentukan arah rotasi motor, sedangkan *pin enable1* berfungsi untuk menentukan kecepatan rotasi motor.

Thermoelectric

Thermoelectric adalah suatu perangkat yang mengubah energi listrik menjadi energi panas atau sebaliknya mengubah energi panas menjadi energi listrik. *Thermoelectric* terdiri dari sambungan elemen semikonduktor tipe p dengan elemen semikonduktor tipe n. *Thermoelectric* berkerja dengan cara memindahkan energi panas (kalor) dari satu bagian (objek) ke bagian lain di perangkat *thermoelectric*, dengan bantuan catu daya dengan polaritas tertentu. Energi panas dapat berpindah karena terdapat perpindahan kalor yang dibawa oleh elektron. Pada sisi yang dingin energi panas diserap oleh elektron, saat elektron melintas dari *level* energi rendah pada elemen semikonduktor tipe p ke *level* energi yang lebih tinggi pada elemen semikonduktor tipe n. Pada sisi yang panas, energi panas dilepaskan elektron saat elektron melintas dari *level* energi tinggi (pada elemen semikonduktor tipe p) ke

Level energi yang lebih rendah (pada elemen semikonduktor tipe n). Mekanisme untuk memanaskan objek berlaku hanya dengan mengubah polaritas dari catu daya yang diberikan kepada *thermoelectric*. Salah satu contoh perangkat *thermoelectric* adalah *peltier*.

Pemanas Udara

Pemanas udara adalah perangkat yang berfungsi untuk meningkatkan temperatur udara (menghangatkan udara). Terdapat beberapa jenis pemanas udara berdasarkan fungsinya yaitu pemanas udara ruangan dan pemanas udara untuk keperluan industri. Pemanas udara ruangan umumnya mempergunakan *electric heater* (pemanas elektrik), yang terdiri dari beberapa jenis berdasarkan pada mekanisme pemanasan udara, yaitu *Convection heaters*, *fan heaters*, *radiant heaters*, and *infrared heaters*.

Convection heaters berkerja berdasarkan prinsip termodinamika, yaitu saat arus listrik dialirkan pada element pemanas (plat logam) maka plat logam akan menghasilkan panas yang kemudian akan mengalir ke udara sekitar. *Fan heater (forced convection)* berkerja seperti *convection heater*, yaitu dengan mengalirkan udara melintasi elemen pemanas dengan bentuan kipas. *Radiant heater* sedikit berbeda dengan *convection* dan *fan heaters*, yaitu memanfaatkan prinsip ilmiah untuk memanaskan ruangan. *Radiant heater* berkerja dengan mentransfer panas memanfaatkan gelombang elektromagnetik (yang dikenal dengan gelombang *infrared*) yang kemudian diserap oleh objek.

Pemanas udara berfungsi untuk menaikkan temperatur udara ruangan sistem. Pemanas udara yang dipergunakan adalah *electric fan heater*. *Electric fan heater* dipergunakan karena cepat untuk menaikkan temperatur udara, mudah untuk dioperasikan, dan mudah ditemukan dipasaran. Spesifikasi *electric fan heater* yaitu memanfaatkan catu daya $220 V_{AC}$ 200 Watt.

Nozzle

Nozzle adalah sebuah perangkat yang dirancang untuk mengontrol arah dan karakteristik aliran fluida, misalnya cairan dan gas. *Nozzle* umumnya dipergunakan untuk mengontrol tekanan, arah aliran, massa, volume, wujud dan kecepatan aliran fluida. *Nozzle* umumnya terbuat dari pipa atau saluran yang memiliki dimensi tertentu yang bergantung pada fungsinya. Terdapat beberapa jenis *nozzle* berdasarkan fungsinya, diantaranya yaitu *rocket nozzle*, *water nozzle (nozzle air)*, dan *air nozzle*. *Nozzle* air sendiri juga terbagi menjadi beberapa jenis, misalnya untuk menaikkan kecepatan aliran air atau mengubah wujud air menjadi embun atau butiran halus air.

Optocoupler

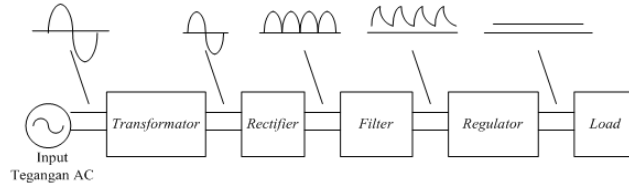
Optocoupler adalah perangkat yang dirancang untuk mengirimkan sinyal tanpa terhubung secara langsung. Fungsinya identik dengan *relay*, namun *optocoupler* memiliki kecepatan, ukuran fisik dan reabilitas yang lebih baik. Umumnya *optocoupler* dipergunakan untuk menghubungkan sebuah perangkat dengan perangkat lainnya yang memiliki tegangan kerja yang berbeda, misalnya untuk menghubungkan mikroprosesor yang berkerja pada tegangan $5 V_{DC}$ dengan TRIAC yang berkerja pada tegangan $220 V_{AC}$. Selain itu *optocoupler* juga dipergunakan untuk mencegah pengaruh perubahan tegangan yang dialami oleh rangkaian.

Optocoupler terdiri dari *optical transmitter* yang berupa *light emitting diode* (LED) dan *optical receiver* yang berupa *phototransistor*, seperti yang ditunjukkan di skema kerja *optocoupler*. *Optocoupler* berkerja mengirimkan sinyal dengan cara memanfaatkan gelombang cahaya yang dihasilkan oleh LED saat *optocoupler* diberikan *input high* pada *pin 1*, kemudian *phototransistor* akan menerima sinyal cahaya yang dikirimkan LED. Hal tersebut menyebabkan *phototransistor* berkerja menyalurkan arus dari *pin* kolektor (nomor 3) ke *pin* emiter (nomor 4).

Optocoupler yang digunakan pada perancangan ini adalah 4N35. *Optocoupler* 4N35 digunakan untuk menghindari kontak secara langsung antara sensor intensitas cahaya dengan mikrokontroler, agar sensor intensitas cahaya terhindar dari gangguan arus dan tegangan. Spesifikasi dari 4N345 adalah tegangan *input* mencapai 6 volt 60 mA dengan kecepatan *switching* $7\mu s$, dan tegangan *output* mencapai 30 volt.

Catu Daya

Catu daya adalah perangkat yang berfungsi untuk menyuplai tegangan DC kepada seluruh perangkat dan rangkaian yang membutuhkan tegangan DC. Catu daya yang digunakan pada perancangan ini yaitu $5 V_{DC}$ dan $12 V_{DC}$. Catu daya $5 V_{DC}$ dan $12 V_{DC}$ diperoleh dari catu daya jala-jala listrik $220 V_{AC}$ dengan melalui beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut yaitu *transformator*, *rectifier*, *filter*, dan *regulator*, seperti yang ditunjukkan pada diagram blok di Gambar 6.



■ Gambar 6. Diagram Blok Catu Daya [9]

Tahapan menghasilkan catu daya tegangan DC dimulai dengan menurunkan tegangan *input* $220 V_{AC}$ dengan *transformator step down* agar tegangannya mendekati tegangan DC yang dibutuhkan. *Output* yang dihasilkan dari *transformator* masih berupa tegangan AC yang memiliki beda potensial yang lebih kecil. Tegangan AC tersebut kemudian disearahkan dengan *rectifier* yang berupa *diode bridge* untuk memperoleh tegangan DC. Tegangan DC yang diperoleh dari *diode bridge* masih mengandung komponen tegangan AC, sehingga tegangan DC tersebut perlu di-*filter*. *Filter* yang digunakan adalah kapasitor, sehingga tegangan DC yang diperoleh sudah merupakan tegangan DC dengan sedikit *ripple*. Tegangan tersebut pada dasarnya sudah dapat dipergunakan, namun tegangan DC ini tidak cocok untuk rangkaian yang sensitif terhadap perubahan tegangan dan apabila tegangan $220V_{AC}$ yang berasal dari jala-jala mengalami fluktuasi maka tegangan DC yang dihasilkan akan ikut mengalami fluktuasi. Hal tersebut diatasi dengan menggunakan *voltage regulator* agar tegangan DC yang dihasilkan stabil. *Voltage regulator* dapat berupa *zener regulator*, *regulator* dengan op-amp, dan *regulator* dengan IC.

Tirai Penghalau Intensitas Cahaya Matahari

Tirai penghalau intensitas cahaya matahari atau yang biasa disebut *shading net* atau *para net*, digunakan pada perancangan ini untuk memberikan suatu kondisi lingkungan untuk diterapkan pada tanaman. *Shading net* terbuat dari bahan plastik berwarna hitam berwujud tirai yang memiliki tingkat kerenggangan tertentu.

Shading net memiliki beberapa tingkat intensitas cahaya, yaitu 55%, 65%, dan 75%. Nilai persentase *shading net* menunjukkan persentase intensitas cahaya yang dihalau, semakin besar persentase *shading net*, maka semakin rendah intensitas cahaya yang dilewatkan oleh *shading net*. *Shading net* yang digunakan pada perancangan ini adalah *shading net* dengan persentase 55%. Persentase 55% digunakan karena *shading net* 55% ideal untuk dipergunakan pada jenis tanaman yang ditanam dengan metode hidroponik *deep water culture*.

Peltier

Peltier adalah salah satu perangkat *thermoelectric* yang dapat mengubah energi listrik menjadi aliran energi panas (kalor). *Peltier* adalah elemen yang berwujud kepingan dengan lapisan luar keramik. Sebagai *water heater & cooler*, *peltier* dirangkai dengan *heat sink* pada kedua sisinya dan kipas pada salah satu *heat sink*. *Water heater & cooler* yaitu berfungsi untuk menurunkan dan menaikkan temperatur media air pada metode hidroponik yang diterapkan. *Peltier* yang dipergunakan adalah *peltier* TEC1-12705 dengan spesifikasi 127 *couple*, $12 V_{DC}$, dan 5 amper. Penggunaan *peltier* umumnya disertai dengan *heat sink* untuk mempercepat perpindahan kalor. *Peltier* digunakan untuk mengendalikan temperatur karena *peltier* dapat dipergunakan untuk memanaskan maupun mendinginkan objek, selain itu *peltier* juga relatif mudah untuk dipergunakan. Hanya dengan menukar polaritas pada *peltier* maka *peltier* akan arah aliran kalor akan berbalik.

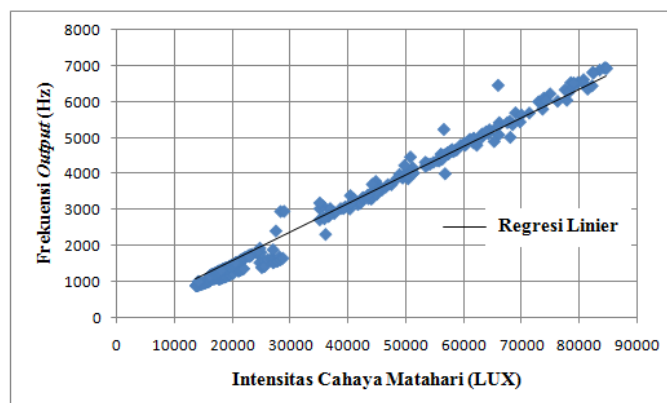
HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian modul sensor intensitas cahaya bertujuan untuk mengetahui representasi *output* yang dihasilkan modul terhadap intensitas cahaya yang diukurnya. Pengujian dilakukan dengan dua tahapan, yaitu tahap pengujian konfigurasi sensor intensitas cahaya TSL230 terhadap seluruh konfigurasi sensitifitas dan *scaling* yang tersedia dan tahap menguji *output* TSL230 saat mengukur intensitas cahaya matahari. Pengujian TSL230 dilakukan dengan bantuan *frequency counter* dan luxmeter.

Pengujian tahap pertama bertujuan untuk mengetahui konfigurasi yang dipergunakan. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan *output pin* dari TSL230 dengan *frequency counter* untuk mengukur frekuensi dari pulsa yang dihasilkan. TSL230 dikonfigurasi dengan seluruh kombinasi sensitifitas dan *scaling*, mulai dari sensitifitas 1x dengan *scaling* 1, 2, 10, dan 100, sensitifitas 10x dengan *scaling* 1, 2, 10, dan 100, dan sensitifitas 100x dengan *scaling* 1, 2, 10, dan 100. Pengujian dilakukan dengan intensitas cahaya lampu penerangan (*fluorescent lamp*) dengan intensitas kurang lebih 300 lux di dalam Laboratorium Telekomunikasi Teknik Elektro Universitas Tarumangara (UNTAR). Hasil pengujian menunjukkan frekuensi yang dihasilkan sesuai dengan konfigurasi sensitifitas dan *scaling* yang diterapkan. Hasil pengujian tahap pertama ditunjukkan pada Tabel 4.1. Berdasarkan hasil pengujian tahap pertama, diperoleh bahwa sensitifitas 1x dan *scaling* 100 adalah konfigurasi yang tepat untuk mengukur intensitas cahaya matahari yang relatif tinggi saat siang hari ketika keseluruhan sistem berkerja. Konfigurasi tersebut dipilih karena konfigurasi tersebut memiliki rentang *output* terkecil, sehingga saat mengukur intensitas matahari yang relatif terang, sensor masih dapat menghasilkan *output* yang sesuai.

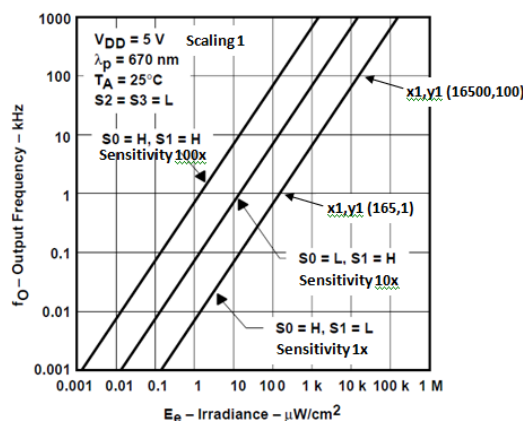
Pengujian tahap kedua bertujuan untuk mengetahui representasi nilai frekuensi *output* TSL230 terhadap intensitas cahaya matahari. Pengujian dilakukan pada tanggal 2 dan 3 Mei 2011 pukul 10.00 hingga 15.00 WIB di lahan terbuka yang terletak di belakang Gedung K Kampus 1 UNTAR. Pengujian dilakukan dengan berbagai intensitas cahaya matahari. Pengujian dilakukan dengan mengukur frekuensi *output* dengan *frequency counter* dan mengukur intensitas cahaya matahari dengan luxmeter, untuk kemudian dibandingkan hasilnya.

Hasil pengujian tahap kedua menunjukkan frekuensi *output* meningkat seiring dengan peningkatan intensitas cahaya matahari yang diukur luxmeter, seperti grafik yang ditunjukkan pada Gambar 7. berdasarkan data hasil pengujian pada grafik Gambar 7, terdapat beberapa lonjakan nilai yang memiliki selisih yang relatif cukup besar dibanding dengan nilai pengujian rata-rata pada suatu intensitas, hal ini dikarenakan respon alat ukur yang terlambat dan kurangnya ketelitian dalam pembacaan alat ukur dan pencatatan hasilnya. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, kemudian data-data hasil pengujian diolah dengan memanfaatkan Microsoft Excel 2007 sehingga diperoleh Persamaan 4.1, yaitu persamaan *trendline* (regresi) linier frekuensi *output* TSL230 terhadap intensitas cahaya matahari. *Trendline* linier dipergunakan karena berdasarkan data hasil pengujian, persamaan regresi linier memiliki nilai *pearson product moment correlation coefficient* (R^2) yang sama besar dibanding dengan *trendline* lainnya yaitu 0,983. R^2 adalah nilai yang menunjukkan ketepatan persamaan dalam merepresentasikan frekuensi *output*, yaitu sebesar 98,3%. Berdasarkan R^2 , maka besar persentase *error* rata-rata sebesar 1,7%.



■ Gambar 7. Grafik Frekuensi *Output* TSL230 Terhadap Intensitas Cahaya Matahari

Hasil pengujian tersebut kemudian dibandingkan dengan grafik frekuensi *output* terhadap intensitas cahaya dalam satuan *irradiance* pada Gambar 8 yang diperoleh dari *datasheet* TSL230.

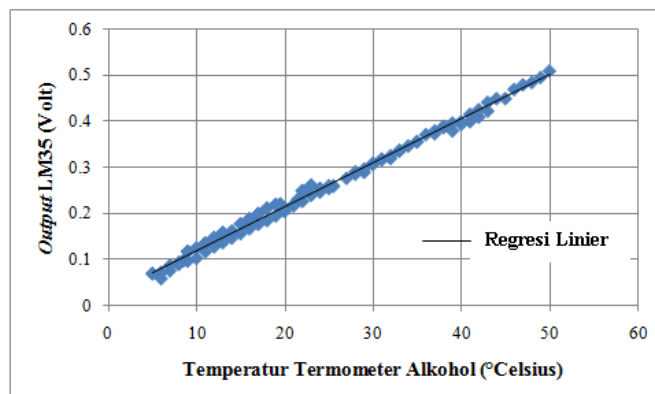


■ Gambar 8. Grafik Frekuensi *Output* Terhadap Irradiance TSL230

Berdasarkan grafik frekuensi *output* terhadap *irradiance* pada Gambar 4.3, dengan *scaling* 1 dan sensitifitas 1x diperoleh persamaan garisnya untuk dibandingkan dengan hasil pengujian. Persamaan garis dengan konfigurasi sensitifitas 1x dipergunakan karena persamaan garis ini adalah persamaan garis yang merupakan konfigurasi sensitifitas yang dipergunakan, sehingga akan mempermudah dalam membandingkan data hasil pengujian. Persamaan garis tersebut kemudian diperoleh dengan metode interpolasi linier, karena garis tersebut adalah garis lurus (linier).

Pengujian modul sensor temperatur udara dan media air bertujuan untuk mengetahui representasi *output* modul sensor temperatur (LM35) terhadap temperatur media yang diukurnya. Pengujian dilakukan pada pukul 9.00 hingga 15.00 WIB tanggal 10 Maret 2011, di Laboratorium Fisika Fakultas Teknik UNTAR. Pengujian modul ini dilakukan dengan memasukkan sensor temperatur LM35 ke dalam media yang temperaturnya dipantau terus-menerus dengan termometer alkohol, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Media yang dipergunakan adalah air, karena media air memiliki karakteristik yang mendukung dalam pengujian. Karakteristik yang mendukung adalah media air relatif mudah untuk diubah temperaturnya sesuai kebutuhan, mengalami perubahan temperatur yang relatif lambat, dan media air adalah salah satu media yang akan diukur temperaturnya pada perancangan ini.

Pengujian dilakukan dengan mengubah temperatur media air dari ± 25 °C menjadi 5 °C untuk batas terendah dan menjadi 50 °C untuk batas tertinggi. Penentuan batas pengujian temperatur terendah dan tertinggi dilakukan berdasarkan temperatur udara yang dimiliki iklim di wilayah tropis termasuk Indonesia. Berdasarkan pada suhu udara tertinggi iklim tropis yang mencapai lebih dari 40 °C sehingga batas tertinggi pengujian temperatur ditentukan sebesar 50 °C. Sedangkan suhu udara terendah mencapai 11 °C, sehingga batas terendah pengujian temperatur ditentukan sebesar 5 °C. Temperatur diturunkan dengan memberikan es batu ke dalam media air sedikit demi sedikit, sedangkan untuk menaikkan temperatur dipergunakan alat pemanas air *steam generator*. Selama perubahan temperatur media air, temperatur media air diukur menggunakan termometer alkohol dan tegangan *output* LM35 diukur dengan multimeter dan keduanya dicatat.



■ **Gambar 9.** Grafik *Output* LM35 Terhadap Temperatur Termometer Alkohol

Hasil pengujian modul sensor temperatur menunjukkan tegangan *output* LM35 merepresentasikan temperatur yang diukurnya. Persamaan regresi linier yang diperoleh dengan menggunakan Microsoft Excel 2007 berdasarkan hasil percobaan yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Persamaan 4.6 memiliki *pearson product moment correlation coefficient* (R^2) sebesar 0,993. Persamaan regresi linier dipilih karena memiliki *pearson product moment correlation coefficient* yang sama besar dengan persamaan regresi lainnya. R^2 menunjukkan bahwa persamaan 4.6 memiliki ketepatan dalam merepresentasikan temperatur sebesar 99,3%, sehingga persentase *error* yang dimiliki adalah sebesar 0,7%. Persentase *error* disebabkan kurangnya ketelitian dalam pembacaan alat ukur.

Pengujian modul sensor kelembapan udara bertujuan untuk mengetahui apakah modul sensor kelembapan dapat mengukur kelembapan relatif udara. Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan higrometer untuk membandingkan hasil pengukuran, *spray* air, *hair dryer* untuk meningkatkan kelembapan, wadah transparan (kaca) untuk menjadi ruang lokasi pengukuran kelembapan udara relatif, modul mikrokontroler, *driver* komunikasi serial, dan *hyperterminal*. Pengujian diawali dengan mengukur kelembapan relatif di udara terbuka. Data hasil pengukuran dikirimkan kepada modul mikrokontroler dan modul mikrokontroler akan mengirimkan data tersebut ke *hyperterminal* dengan memanfaatkan modul *driver* komunikasi serial.

Data hasil pengukuran dicatat setiap 10 menit sebanyak dua kali. Kemudian pengujian dilanjutkan dengan mengukur kelembapan yang bervariasi yaitu dengan mengukur kelembapan di dalam wadah kaca. Higrometer dan modul sensor kelembapan ditempatkan di dalam wadah tersebut, selanjutnya air disemprotkan dengan *spray* ke dinding wadah. Setelah itu wadah dipanaskan dengan *hair dryer*. Kelembapan wadah diubah dengan cara yang sama, yaitu dengan memberikan semburan air dan udara panas untuk menguapkan air menjadi kelembapan.

Data hasil pengujian dicatat setiap 10 menit. Pencatatan dilakukan setiap selang waktu 10 menit, karena higrometer merespon perubahan kelembapan dengan selang waktu 10 menit. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

■ **Tabel 1.** Hasil pengujian modul sensor kelembapan udara

Kelembapan Relatif Udara (%RH)	
Modul Sensor Kelembapan	Higrometer
67	67
74	73
78	75
79	80
85	85
87	89
89	90
90	91

Pengujian dilakukan hanya dengan 10 sampel data untuk mengetahui apakah bahwa sensor dapat mengukur kelembapan relatif. Hal ini dikarenakan modul sensor kelembapan udara sudah terkalibrasi oleh produsennya. Berdasarkan pengujian diperoleh bahwa sensor memiliki respon yang lebih cepat yaitu sekitar 10 detik terhadap perubahan kelembapan. Berdasarkan Tabel 4.3, data hasil pengukuran antara modul sensor dan higrometer terdapat selisih rata-rata antara hasil pengukuran modul sensor dengan higrometer sebesar 1,4%. Hal ini dikarenakan perbedaan waktu respon terhadap perubahan kelembapan relatif udara dan nilai sensitifitas sensor. Berdasarkan analisis modul sensor kelembapan udara, maka dinyatakan bahwa modul sensor kelembapan berkerja dengan baik, karena *ouput* modul dapat merepresentasikan kelembapan relatif udara.

Pengujian modul *driver* komunikasi serial dilakukan untuk mengetahui apakah komunikasi serial antara komputer (modul *user interface*) dan modul mikrokontroler dapat berlangsung. Pengujian yang dilakukan menggunakan *port* serial yaitu *port* DB-9 pada komputer, modul *driver* komunikasi serial, modul mikrokontroler, dan memanfaatkan *software* yang dapat mengakses *hyperterminal* pada komputer yaitu PICBASIC Terminal. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan modul *driver* komunikasi dengan *port* serial DB-9 dan dihubungkan juga dengan modul mikrokontroler. Pengujian didukung dengan modul mikrokontroler yang diprogram dengan algoritma yang membaca data yang diterima dan mengirimkan kembali data yang diterima sebelumnya.

Pengujian dilanjutkan dengan mengirimkan data melalui *hyperterminal* dengan cara mengetikkan sejumlah karakter dan modul mikrokontroler akan menerima data-data tersebut. Modul mikrokontroler merespon data-data yang diterimanya dengan mengirimkan karakter yang sama ke *hyperterminal*, kemudian karakter-karakter yang dikirimkan oleh mikrokontroler akan muncul pada *display hyperterminal* di komputer. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, maka modul *driver* komunikasi serial berkerja dengan baik karena sejumlah karakter yang dikirimkan diterima oleh modul mikrokontroler dan komputer dapat menerima sejumlah karakter yang sesuai dengan yang dikirimkan oleh modul mikrokontroler.

Pengujian terhadap modul *real time clock* bertujuan untuk mengetahui apakah modul *real time clock* dapat memberikan tanggal dan waktu yang sesuai dengan jalannya waktu. Pengujian modul *real time clock* memanfaatkan modul *driver* komunikasi serial, modul mikrokontroler beserta program membaca data waktu dan tanggal, dan PICBASIC Terminal yang dirangkai. Sebelum pengujian dilakukan, modul *real time clock* di-*setting* dengan waktu dan tanggal yang sesuai dengan waktu dan tanggal di komputer.

■ **Tabel 2.** Hasil pengujian modul *rela time clock*

Pengujian Ke-	Selisih Waktu (Detik)
	Setelah Selang Waktu 30 Hari
1	300
2	294
3	299
4	301
5	295
Rata-rata	297,8

Pengujian dilakukan dengan mengecek waktu dan tanggal setelah modul *real time clock* diaktifkan selama 30 hari. Berdasarkan hasil pengujian modul *real time clock* yang ditunjukkan pada Tabel 2, waktu dan tanggal pada modul *real time clock* terdapat selisih mencapai 5 menit lebih lambat dengan waktu dan tanggal pada komputer yaitu berdasarkan perhitungan memiliki selisih 0,0023 %. Terdapatnya selisih yang muncul dikarenakan *noise*, temperatur rendah yang mempengaruhi ketepatan pulsa *clock* yang berasal dari *crystal*, kualitas komponen, dan pembuatan *Printed Circuit Board* (PCB) yang kurang baik. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, maka modul *real time clock* dinyatakan masih berkerja dengan cukup baik, karena modul *real time clock* dapat memberikan waktu dan tanggal yang memiliki selisih 0,0023%.

Pengujian modul *driver* sensor intensitas cahaya dilakukan untuk mengetahui apakah modul *driver* sensor intensitas cahaya dapat mengirimkan data digital yang berupa pulsa dengan frekuensi tertentu. Pengujian dilakukan dengan dua tahapan, serta memanfaatkan multimeter dan catu daya. Pengujian tahap pertama dengan memberikan *input* pada *pin* 1 dan mengukur tegangan pada *pin* 5 dari modul *driver* sensor intensitas cahaya.

Hasil pengujian tahap pertama ditunjukkan pada Tabel 3. Logika yang dihasilkan modul sesuai dengan skematik dari rangkaian, yaitu saat *input* diberikan *low* maka *diode infrared source* tidak menghasilkan *infrared* sehingga *phototransistor* tidak menerima *trigger*, dengan demikian *output* yang dihasilkan akan bernilai *high* karena menerima tegangan yang berasal dari resistor *pull up*. Sedangkan saat *input* diberikan logika *high* maka *diode infrared source* akan menghasilkan *infrared* dan men-*trigger phototransistor* dan mengalirkan arus dari resistor *pull up* menuju *ground*, sehingga logika yang dihasilkan akan bernilai *low*. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis tahap pertama tersebut, maka modul *driver* sensor intensitas cahaya berkerja dengan baik sesuai dengan fungsinya.

■ **Tabel 3.** Hasil pengujian tahap pertama modul *driver* sensor intensitas cahaya

Input pada pin 1	Output dari pin 5
Logika <i>High</i> (5 V _{DC})	Logika <i>Low</i> (0 V _{DC})
Logika <i>Low</i> (0 V _{DC})	Logika <i>High</i> (4.9 V _{DC})

Pengujian tahap kedua dilakukan dengan memanfaatkan modul sensor intensitas cahaya, mikrokontroler, dan PICBASIC Terminal. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan yang dicetak pada tampilan *hyperterminal*, dengan menghubungkan modul sensor intensitas cahaya secara langsung dengan modul mikrokontroler, dibandingkan dengan menghubungkan modul sensor intensitas cahaya dengan modul mikrokontroler memanfaatkan perantara modul *driver* sensor intensitas cahaya. Data hasil pengujian modul dengan beberapa nilai frekuensi ditunjukkan pada Tabel 4.

■ **Tabel 4.** Hasil pengujian modul *driver* sensor intensitas cahaya tahap kedua

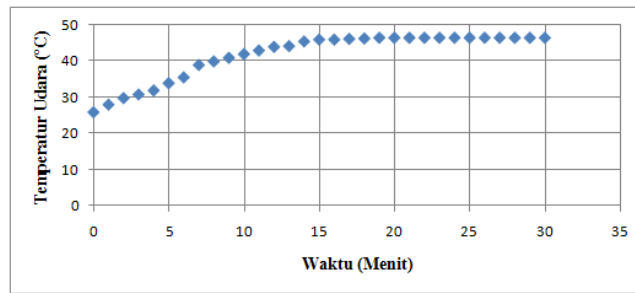
Pengujian Ke-	Frekuensi Pulsa (Hz)	
	Dengan Modul <i>Driver</i> Intensitas Cahaya	Tanpa Modul <i>Driver</i> Intensitas Cahaya
1	2570	2570
2	1896	1896
3	1258	1258
4	511	511
5	316	316

Pengujian tahap kedua menunjukkan data pulsa yang terbaca oleh mikrokontroler dengan pembacaan secara langsung memiliki hasil yang sama dengan hasil pembacaan dengan memanfaatkan modul *driver* sensor intensitas cahaya. Hal ini terjadi karena modul *driver* sensor intensitas cahaya dapat menyampaikan pulsa dengan tegangan dan kecepatan *trigger* yang memenuhi spesifikasi *output* sensor intensitas cahaya TSL230. Berdasarkan hasil tahapan-tahapan pengujian dan analisis, modul *driver* sensor intensitas cahaya dinyatakan berkerja dengan baik, karena dapat menyalurkan *output* modul sensor intensitas cahaya dengan secara tepat.

Pengujian modul pemanas udara bertujuan untuk mengetahui apakah modul pemanas udara berkerja dengan. Pengujian modul pemanas udara dilakukan dengan memberikan *input* kepada modul pemanas udara, sehingga pemanas udara akan berkerja. Saat logika *high* (5 V_{DC}) diberikan kepada modul pemanas udara, maka tegangan *input* tersebut akan men-*trigger* transistor. Transistor yang di-*trigger* akan menghubungkan kutub negatif *relay* dengan *ground*, sehingga *relay* menerima *input* tegangan 12 V_{DC} yang mengaktifkan *relay*. Relay yang aktif akan yang menghubungkan kutub-kutub *input* catu daya 220 V_{AC} dengan pemanas udara, sehingga pemanas udara akan berkerja memanaskan udara.

Modul pemanas udara dapat menaikkan temperatur udara hingga kurang lebih 42 °C pada saat temperatur udara luar kurang lebih 26 °C, seperti yang ditunjukkan pada hasil pengujian pada Gambar 10. Berdasarkan hasil

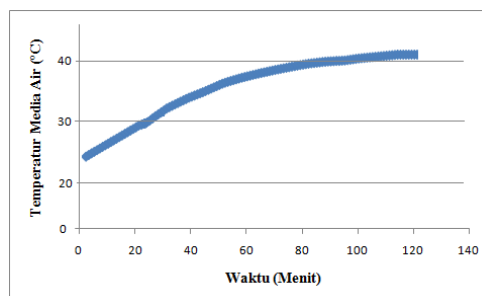
pengujian modul pemanas udara dapat menaikkan temperatur udara sebesar 61,5 % dari kondisi awal. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dinyatakan bahwa modul pemanas udara berkerja dengan baik karena modul dapat meningkatkan temperatur udara di dalam ruangan sistem.



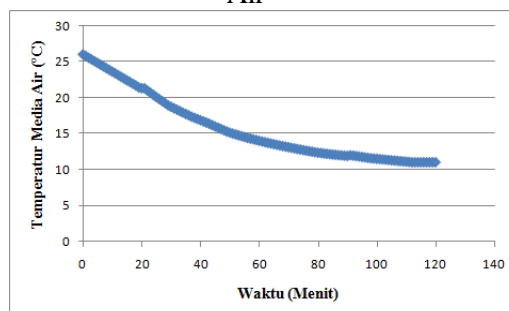
■ Gambar 10. Grafik Hasil Pengujian Modul Pemanas Udara

Pengujian modul *water heater & cooler* dengan memberikan *input logika high* ($5 V_{DC}$) dan *low* ($0 V_{DC}$) kepada modul *water heater & cooler*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16. Hasil pengujian modul *water heater & cooler* ditunjukkan pada Tabel 4.10 berdasarkan pada rangkaian modul *water heater & cooler* yang dibuat.

Saat modul diberikan *input high* pada R1 dan *input low* pada R2, maka tegangan *input* akan men-trigger transistor Q1 dan transistor tersebut akan menghubungkan *pin input relay* dengan *ground*. Kemudian *relay* akan mengalirkan catu daya $12 V_{DC}$ menuju *peltier*, sehingga *peltier* akan mendinginkan sisi media air dengan cara mengalirkan kalor dari *heat sink* sisi air menuju *heat sink* sisi udara dan kalor dilepaskan dengan bantuan kipas. Mekanisme memanaskan media air dilakukan sebaliknya yaitu dengan memberikan *input low* pada R1 dan *input high* pada R2, maka tegangan *input* akan men-trigger transistor Q2 dan transistor tersebut akan menghubungkan *pin input relay* dengan *ground*. Kinerja modul untuk menaikkan dan menurunkan temperatur media air memanfaatkan 4,9 Amper saat diukur dengan ampermeter. Modul *water heater & cooler* dapat menaikkan temperatur media air sejumlah 6,4 liter (sesuai dengan kapasitas wadah penampung media air yang berukuran $28 \times 35 \times 6,5$ cm), hingga $41^{\circ}C$ setelah modul berkerja selama dua jam dan menurunkan temperatur media air hingga $15^{\circ}C$ setelah modul berkerja selama dua jam pada temperatur udara ruangan dan temperatur awal media air $26^{\circ}C$. Berdasarkan pengukuran temperatur media air, diperoleh bahwa modul *water heater & cooler* dapat menaikkan temperatur media air hingga $15^{\circ}C$ dari temperatur udara $26^{\circ}C$ dan menurunkan temperatur hingga $11^{\circ}C$ dari temperatur udara. Pada awal modul diaktifkan, temperatur berubah $0,2^{\circ}C$ setiap satu menit dan kecepatan perubahan temperatur menurun, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12. Berdasarkan hasil pengujian modul berhasil menaikkan dan menurunkan temperatur sebesar 57,69 %. Berdasarkan analisis terhadap modul *water heater & cooler*, dinyatakan bahwa modul *water heater & cooler* berkerja dengan baik, karena berhasil menaikkan dan menurunkan temperatur media air sesuai dengan *input* yang diberikan.



■ Gambar 11. Grafik Hasil Pengujian Modul *Water Heater & Cooler* Untuk Menaikkan Temperatur Media Air



■ Gambar 12. Grafik Hasil Pengujian Modul *Water Heater & Cooler* Untuk Menurunkan Temperatur Media Air

Pengujian modul pengatur intensitas cahaya dilakukan tiga tahap, tahap pertama dilakukan pengujian terhadap rangkaian *limit switch*, tahap kedua dilakukan pengujian terhadap *motor driver* dan tahap ketiga menguji intensitas yang dihalau tirai. Pengujian tahap pertama dilakukan dengan mengecek apakah rangkaian *limit switch* dapat memberikan data digital *high* atau *low*. Pengujian dilakukan dengan mengukur *pin output (common)* dari *limit switch* saat *limit switch* disentuh dan tidak disentuh, Saat *limit switch* tidak disentuh, *pin common limit switch* bernilai *high* dengan tegangan 4,95 V_{DC}, sedangkan saat *limit switch* ditekan maka tegangan yang terukur adalah 0 V_{DC}, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

■ **Tabel 5.** Hasil pengujian tahap pertama modul pengatur intensitas cahaya.

Pengujian Ke-	Input	Tegangan Output (V)
1	Disentuh	0
2	Tidak Disentuh	4,95
3	Disentuh	0
4	Tidak Disentuh	4,95
5	Tidak Disentuh	4,95

Pengujian tahap kedua melibatkan modul mikrokontroler, motor DC dan *motor driver*. Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan modul mikrokontroler yang dilengkapi dengan program yang menggerakkan motor dengan *motor driver*. Program yang diberikan adalah menyalakan motor saat modul mikrokontroler diberikan *input high*. Modul pengatur intensitas cahaya memanfaatkan 0,4 ampere untuk berkerja, saat diukur dengan amperemeter, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.

■ **Tabel 6.** Hasil pengujian tahap kedua modul pengatur intensitas cahaya

Pengujian Ke-	Input	Motor
1	<i>high</i>	aktif
2	<i>high</i>	aktif
3	<i>low</i>	nonaktif
4	<i>low</i>	nonaktif
5	<i>high</i>	aktif

Pengujian tahap ketiga, memanfaatkan *shading net* dan luxmeter. Pengujian dilakukan dengan mengukur intensitas cahaya yang melalui *shading net*. Hasil pengujian menunjukkan intensitas cahaya yang dihalau mencapai 55%, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.

■ **Tabel 7.** Hasil pengujian modul pengatur intensitas cahaya mengurangi intensitas cahaya

Pengujian Ke-	Intensitas cahaya (lux)	
	<i>Shading Net</i>	
	Terbuka	Ditutup
1	82400	37000
2	51200	23000
3	11000	500
4	2300	1000
5	200	90

Pengujian modul mikrokontroler hanya dilakukan memanfaatkan fitur *analog to digital converter*, karena fitur lainnya diuji pada keseluruhan sistem. Pengujian memanfaatkan catu daya, *potensiometer*, *Light Emitting Diode (LED)*, serta program dengan algoritma tertentu. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan tertentu sebagai *input* kepada modul mikrokontroler dengan memanfaatkan *potensiometer*. Kemudian modul mikrokontroler akan menerima data analog tersebut dan mengubahnya menjadi data digital 10 bit. Data digital tersebut akan dibandingkan dengan nilai yang terdapat pada program yaitu sebesar 2 V_{DC}. Apabila tegangan *input* lebih besar dari nilai yang terdapat pada program, maka modul mikrokontroler akan mengaktifkan *pin output* menjadi berlogika *high*. Dengan demikian LED akan menyala, sebaliknya apabila tegangan *input* kurang dari nilai yang terdapat pada program maka LED akan padam, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, maka dinyatakan bahwa modul mikrokontroler berkerja dengan baik, karena modul mikrokontroler berkerja sesuai dengan algoritma yang diberikan.

■ **Tabel 8.** Hasil pengujian modul mikrokontroler

Pengujian Ke-	Input (V)	Output LED
1	2,5	Menyala
2	5	Menyala
3	1,8	Padam
4	3,2	Menyala
5	1,2	padam

Pengujian catu daya bertujuan untuk mengetahui apakah modul catu daya dapat menghasilkan *output* tegangan dan arus yang stabil dan memenuhi kebutuhan modul-modul dan sistem. Pengujian dilakukan memanfaatkan multimeter, beban yang berupa keseluruhan sistem. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan yang disuplai oleh modul catu daya selama beberapa saat dengan beban dan tanpa beban. Pengujian dilanjutkan dengan mengukur kuat arus listrik yang dihasilkan oleh modul catu daya saat menyuplai keseluruhan sistem. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 9.

■ **Tabel 9.** Hasil pengujian modul catu daya

Beban	Catu daya			
	5 V _{DC}		12 V _{DC}	
	Tagangan (v)	Kuat Arus Listrik (A)	Tagangan (V)	Kuat Arus Listrik (A)
Tanpa Beban	5,01	-	12	-
Sistem Keseluruhan	4,8	0,15	10,9	5,8

Berdasarkan hasil pengujian modul catu daya dengan tegangan 5V_{DC}, terjadi simpangan tegangan sebesar 4,2 % saat diberikan beban dan untuk catu daya dengan tegangan 12 V_{DC} terjadi simpangan sebesar 9,17% saat diberikan beban dibandingkan tegangan tanpa beban. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa, terjadi penurunan tegangan saat modul catu daya diberikan beban yang memanfaatkan daya. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, maka modul catu daya dinyatakan berkerja dengan baik karena seluruh sistem masih berkerja dengan baik dan simpangan tegangan yang dihasilkan modul catu daya di bawah 10 %, yang sesuai dengan spesifikasi komponen-komponen yang dipergunakan.

Pengujian modul *user interface* bertujuan untuk menampilkan data hasil pemantauan, memberikan *setpoint*, merekam data hasil pemantauan, dan menampilkan data yang telah direkam dalam bentuk grafik. Pengujian dilakukan bersamaan dengan pengujian sistem keseluruhan, karena pengujian modul *user interface* memerlukan data-data yang diperoleh dari modul-modul lainnya.

KESIMPULAN

Hasil perancangan berhasil memantau, merekam serta menampilkan hasil pemantauan, dan mengendalikan parameter lingkungan pertumbuhan pada tanaman hidroponik di dalam ruangan sistem yang dibuat. Sistem bekerja dengan batasan tertentu dalam mengendalikan parameter lingkungan pertumbuhan tanaman hidroponik, yaitu memiliki batas maksimum dalam menaikkan dan menurunkan temperatur media air mencapai 57,69 %, menaikkan temperatur udara mencapai 61,5 %, menurunkan temperatur udara mencapai 19,23 %, menaikkan kelembapan relatif udara mencapai 24,3 %, dan mengurangi intensitas cahaya matahari sebesar 55% dari kondisi awal. Hasil pemantauan parameter lingkungan dapat terjadi fluktuasi, yang disebabkan faktor interkoneksi antar modul, karakteristik masing-masing komponen, dan fluktuasi tegangan catu daya saat mengaktifkan modul pengendalian parameter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L.H. Nugroho, H.T. Hastuti, T. Astutiningsih, dan I. Sumardi, "Karakteristik Cabai Rawit (*Capsicus Frutescens*) yang Ditumbuhkan Secara Hidroponik", Berkala Ilmiah Biologi 5 (1) : 13 - 21, 2006. Hlm. 1.
- [2] A. Wijayani dan W. Widodo, *Usaha Meningkatkan Kualitas Beberapa Varietas Tomat dengan Sistem Budidaya Hidroponik*, Ilmu Pertanian, Vol. 12, No. 1, 2005:77-83. Hlm. 78.

- [3] J. Benton Jones Jr. *Hydroponics A Practical Guide for the Soilless Grower*, second edition, CRC Press, 2005, Boca Raton, Florida, Hlm. 15-18.
- [4] A.D. Susila, *Teknologi Hidroponik Sistem Terapung (THST) untuk Menghasilkan Sayuran Berkualitas*, Bogor: Bagian Produksi Tanaman Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, IPB, 2009, Hlm. 1.
- [5] M.A. Schnelle dan J.M. Dole, *Locating the Grennhouse*, Oklahoma Cooperative Extension Service, Division of Agricultural Science and Natural Resources, Oklahoma State University, Hlm. 6701 - 6701-3.
- [6] H. Johnson Jr, *Grennhouse Vegetable Production-General Information and Bibliography*, Vegetable Research and Information Certer, University of California, Hlm. 1-2.
- [7] R.J. Tocci, *Digital Systems Principles and Application*. New Jersey: Prentice Hall International, Inc, 1991, pp. 682
- [8] V. Sieben, *A High Power H-Bridge*, Autonomous Robotic Vehicle Project, 2003. Hlm. 3.
- [9] R. Boylestad and L. Nashelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*. New jersey: Prentice Hall International, Inc, 1992, Ch:19 pp. 773-797
- [10] Texas Instruments, *TSL230, TSL230A, TSL230B Programable Light to Frequency Converter Datasheet*, 2003. Hlm. 2.
- [11] Sgs-Thompson Microelectronics, *L293D L293DD Push Pull Four Channel Driver With Diodes Datasheet*, 1996. Hlm. 4.
- [12] A. Ryer, *The Light Measurement Handbook*, International Light Technologies, Peabody: 1997, Hlm. 32.