

RANCANGBANGUN AKTUATOR PENGENDALI IKLIM MIKRO DI DALAM GREENHOUSE UNTUK PERTUMBUHAN TANAMAN SAWI (*Brassica rapa var. parachinensis* L.)

Design of Actuator of Micro Climate Control in Green House for Mustard (*Brassica var rapa. Parachinensis* L.)

Mareli Telaumbanua, Bambang Purwantana, Lilik Sutiarso

Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
Jl. Flora No. 1, Bulaksumur Yogyakarta 55281
Email: relibarthez@yahoo.com

ABSTRAK

Budidaya tanaman sawi (*Brassica rapa var. parachinensis* L.) di lahan terbuka memiliki banyak kendala seperti serangan hama, angin, banjir, suhu lingkungan, kelengasan tanah hingga penyinaran yang tidak sesuai dengan syarat pertumbuhan tanaman. Dampaknya adalah terganggunya pertumbuhan tanaman sehingga mempengaruhi produktivitas. Budidaya tanaman di rumah tanaman (*greenhouse*) merupakan alternatif yang baik untuk mengontrol kendala tersebut. Sistem kontrol pengendalian iklim mikro untuk *greenhouse* telah dirancang dengan menggunakan mikrokontroler AVR ATmega8535. Sistem kontrol dikembangkan dengan menggunakan lima sensor yaitu sensor suhu dan kelembaban lingkungan, sensor suhu tanah, sensor kelengasan tanah, dan sensor intensitas sinar matahari. Rancangan memiliki tiga aktuator yaitu aktuator kipas, aktuator pompa air, dan aktuator lampu fotosintesis. Rancangan diletakkan di dalam *greenhouse* yang terhubung dengan komputer untuk mengirim data iklim mikro selama 32 hari pengamatan. Melalui penelitian ini telah dihasilkan aktuator kipas yang memiliki nilai akurasi 95,46% dengan nilai kecepatan pengendalian untuk mengendalikan suhu 58,70 menit. Aktuator pompa air menunjukkan nilai akurasi 98,01%, dengan kecepatan mengendalikan kelengasan tanah 31,83 menit. Aktuator lampu fotosintesis menunjukkan nilai kecepatan respon terhadap nilai *setting point* untuk menyalakan lampu fotosintesis < 1 detik (± 10 mS). Hasil penelitian menunjukkan, bahwa tanaman yang berada di dalam *greenhouse* memiliki tinggi, dimensi daun, berat basah, dan jumlah daun yang lebih baik dibandingkan dengan di luar *greenhouse*.

Kata kunci: Aktuator, iklim mikro, mikrokontroler, tanaman sawi

ABSTRACT

Cultivation of mustard (*Brassica var rappa Parachinensis* L.) in the field has many obstacles such as pests, wind, flood, temperature, soil moisture, and solar radiation which are able to disturb the plant growth. The impact is disturbing of plant growth thus affecting productivity. Cultivation in greenhouse is an appropriate alternative to controlling the constraints. Control system for microclimate greenhouse was designed using microcontroller ATmega8535. The system was developed using five sensors i.e.: air temperature and humidity, soil temperature, soil moisture, and solar radiation and three actuators, i.e.: fan actuator, water pump actuator, and artificial photosynthesis light actuator. The equipment of control was placed in the greenhouse and connected to computer for sending microclimate data for 32 days of observation. The result revealed that fan actuator has accuracy of 95,46% with speed controlling temperature of 58,70 minute. The efficiency of water pump actuator was 98,01%, with the speed to controls soil moisture of 31,83 minute. Photosynthetic light actuator showed the speed of response to the setting point of photosynthesis light <1 sec (± 10 ms). The experimental research showed that the high, dimensions of leaves, weight, and the number of leaves of mustard plant in the greenhouse were better than plant outside the greenhouse.

Keywords: Actuators, microclimate, microcontroller, mustard plant

PENDAHULUAN

Sawi bakso atau caisim merupakan jenis sayuran yang cukup populer (Samiaty, dkk., 2012; Perwtasari, dkk., 2012). Sayuran sawi tergolong sayuran yang banyak dikonsumsi oleh penduduk Indonesia, karena rasanya yang manis dan memiliki kandungan gizi yang tinggi. Sejauh ini, petani tradisional menanam sawi di lingkungan terbuka. Akibatnya saat musim hujan, banyak tanaman yang rusak terkena air hujan dan terserang penyakit. Sedangkan saat musim kemarau, kualitasnya turun karena daun sawi dimakan serangga (Haryanto dan Suhartini, 2002).

Rumah tanaman (*greenhouse*) merupakan tempat yang ideal untuk budidaya tanaman pangan, tanaman buah, dan tanaman hortikultura seperti sayuran sawi. Sayuran sawi peka terhadap perubahan lingkungan yang tidak sesuai dengan pertumbuhannya. Hal ini ditunjukkan langsung oleh perubahan fisik tanaman seperti daun menjadi layu (Opena and Potter, 1999).

Dalam budidaya tanaman sawi, unsur hara (nutrisi) di dalam tanah dan kondisi iklim mikro merupakan hal yang sangat berpengaruh. Unsur hara yang tersedia cukup di tanah akan diserap oleh tanaman untuk pertumbuhannya, sedangkan iklim berkaitan dengan faktor di luar tanaman dalam mendukung pertumbuhannya. Untuk itu harus diketahui sifat-sifat tanaman terkait dengan iklim yang sesuai dengan pertumbuhannya. Tanaman sawi lebih sesuai jika ditanam di dataran tinggi dengan intensitas sinar matahari yang cukup, karena selama pertumbuhannya tanaman sawi memerlukan suhu yang rendah hingga hangat (22 - 33 °C), suhu tanah pada kisaran 7 - 28 °C, kelembaban lingkungan \pm 75 % dan kelengkapan tanah pada kisaran 60 - 88 % (wb). Kualitas penyinaran dengan sinar matahari merupakan faktor utama di dalam pertumbuhan optimal tanaman sawi (Gallagher, 1990; Haryanto dan Suhartini, 2002).

Pengamatan iklim mikro yang ada di dalam *greenhouse* yaitu kelengkapan tanah, kelembaban lingkungan, suhu lingkungan, intensitas matahari, dan suhu tanah harus selalu diperhatikan agar pertumbuhan tanaman dapat dioptimalkan. Informasi iklim mikro ini sangat penting karena terkait langsung dengan tindakan lanjutan, untuk menjamin agar tanaman dapat tetap tumbuh optimal. Kesalahan pengukuran harus dicegah agar tindakan antisipasi untuk melindungi tanaman akibat pengaruh buruk dari luar yang merusak tanaman dapat langsung dilakukan. Informasi iklim ini kemudian akan dimanfaatkan untuk membuat rancangan aktuator otomatis yang dapat mengerjakan kegiatan perawatan tanaman sawi menggantikan tenaga manusia untuk menjamin pemeliharaan yang berkelanjutan sesuai dengan sifat pertumbuhan tanaman agar diperoleh hasil yang baik.

Penelitian yang pernah dilakukan mengenai otomatisasi *greenhouse* dan otomatisasi naungan antara lain dilakukan oleh Isnaen (2010) yaitu tentang penerapan desain otomatisasi suhu dan kelembaban untuk peningkatan produktivitas jamur merang. Sensor yang digunakan adalah sensor kelembaban lingkungan dan sensor suhu lingkungan. Penelitian lainnya dilakukan oleh Suhardiyanto, dkk. (2012) tentang aplikasi PLC (*Programmable Logic Controller*) untuk budidaya krisan sistem hidroponik. Penelitian ini menggunakan sensor suhu, RH, dan nutrisi. Penelitian tentang pengaturan suhu, kelembaban, serta waktu pemberian dan pembuangan nutrisi dalam hidroponik dilakukan oleh Diansari (2009). Penelitian ini menggunakan prototipe dengan sensor suhu dan RH. Aktuator yang digunakan adalah kipas untuk mengontrol suhu dan *sprinkler* untuk mengontrol kelembaban. Penelitian tentang pemeliharaan tanaman sawi dilakukan oleh Wahyu (2009) yaitu tentang rancangbangun rumah kaca (*greenhouse*) serta *monitoring* kelembaban dan suhu pada tanaman hidroponik sistem NFT (*Nutrient Film Technique*).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang aktuator otomatis pengendalian iklim mikro di *greenhouse* untuk pertumbuhan tanaman sawi. Hasil penelitian diharapkan menjadi solusi permasalahan dalam pengukuran dan pengendalian iklim di *greenhouse*. Dengan penerapan alat ini pada *greenhouse* diharapkan dapat mengurangi kesalahan operator (*human error*) terhadap pengendalian iklim di dalam *greenhouse* dan mempercepat proses pertumbuhan tanaman sawi.

METODE PENELITIAN

Kerangka Pikir

Sistem otomatisasi aktuator dirancang agar dapat mengendalikan iklim mikro selama pertumbuhan tanaman sawi dengan menggunakan mikrokontroler ATmega8535. Rancangan modul mikrokontroler dilengkapi LCD (*Liquid Crystal Display*) dan rangkaian pengirim data ke komputer menggunakan IC-Max. Skematik rangkaian *power supply* dirancang memberi tiga *output* tegangan DC sebesar 12, -12, dan 5 V.

Sensor suhu yang digunakan adalah sensor merek SHT11 buatan *sensirion* dengan akurasi 0,3 °C. Sensor ini dapat mengukur suhu dan kelembaban lingkungan. Perancangan aktuator suhu dengan 4 kipas angin, dua di antaranya kipas tegangan AC dan dua sisanya adalah *exhaust fan* kipas pendingin komputer (kipas DC). Penggunaan kipas tegangan AC agar dapat menurunkan suhu lebih cepat, dibandingkan jika hanya menggunakan kipas DC. Sensor suhu tanah yang digunakan adalah merek LM35 yang biasa untuk mengukur suhu lingkungan. Sensor ini diproduksi

national semiconductor dengan nilai akurasi 0,5 °C. Rancangan sensor ini dapat mengukur suhu tanah yang basah karena dilapisi dengan lem karet yang berfungsi melindungi sambungan kabel pada sensor. Tegangan *input* untuk sensor ini adalah 5 V. *Output* sensor ini dirancang menuju *portA.0* pada mikrokontroler.

Sensor cahaya yang digunakan adalah LDR (*Light Dependent Resistance*). Tegangan *output* akan berubah ketika LDR mengalami perubahan resistansi. Tegangan *input* yang diberikan untuk sensor ini adalah 5 V. *Output* sensor ini dirancang menuju *portA.2* mikrokontroler. Aktuator lampu fotosintesis menggunakan 75 LED dengan 60 LED berwarna merah dan 15 LED berwarna biru. Aktuator lampu fotosintesis buatan akan aktif karena dipicu oleh tegangan yang keluar dari *Port B.5* pada mikrokontroler.

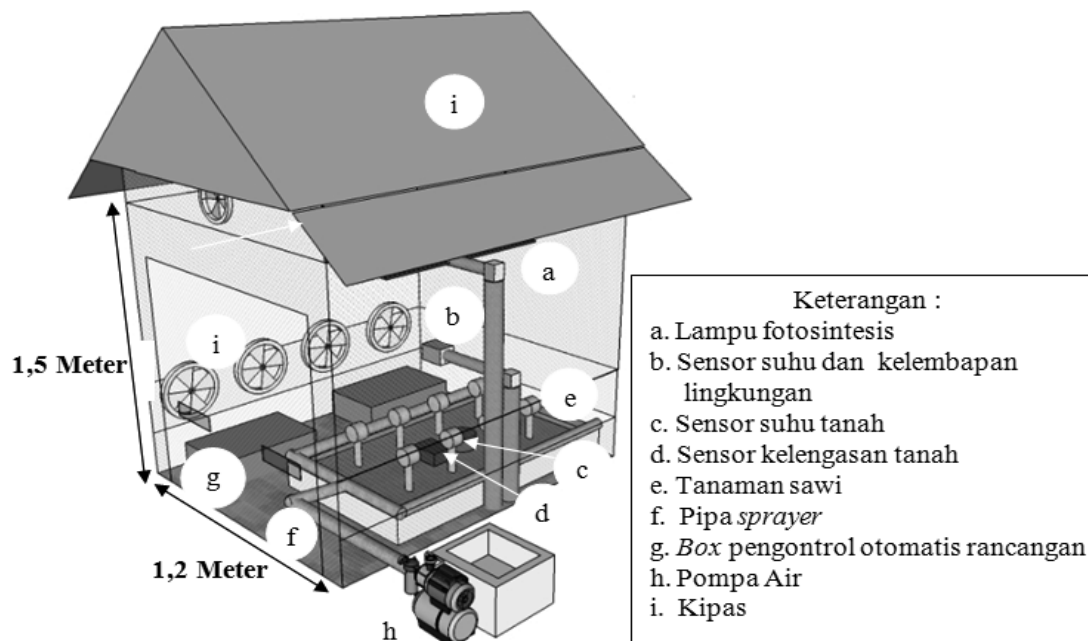
Sensor kelengasan yang digunakan adalah kombinasi *Op-Amp* dan *stacker* atau sering disebut colokan listrik yang dialiri arus AC 6 V. Arus ini disearahkan menjadi DC agar dapat menjadi *input* data untuk mikrokontroler. Rancangan *stacker* ini dapat mengukur kelengasan secara langsung jika dipindah, tidak seperti *gypsum* yang membutuhkan waktu yang lebih lama. Sensor ini mengukur perubahan jumlah air di dalam tanah yang ditangkap dengan memanfaatkan nilai resistansi tanah. Sensor menggunakan *Op-Amp* TL-074 sebagai *buffer*. Aktuator pompa akan aktif karena dipicu oleh tegangan yang keluar dari *port B.4* dari mikrokontroler.

Prototipe *greenhouse* dibuat sesuai dengan bentuk dan karakteristik *greenhouse* di daerah tropis, yaitu memiliki banyak ventilasi udara, sehingga *greenhouse* tidak menjadi

penampung panas yang berlebih. Kipas ditambahkan untuk membantu sirkulasi udara. Ukuran rancangan *greenhouse* ini tidak mengikuti SNI yaitu minimal seluas 60 m², tetapi *greenhouse* ini memiliki keserupaan bentuknya. Rancangan ini hanya merupakan media untuk pengujian rancangbangun sistem kontrol. Skema dasar *greenhouse* ditunjukkan pada Gambar 1.

Alat dan Bahan

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Energi dan Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Dalam perancangannya, perangkat keras (*hardware*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah komputer atau laptop, *downloader* program, dan seperangkat peralatan teknik elektronik, sedangkan perangkat lunak (*software*) yang digunakan adalah *bascom AVR 1.11.7.7* dan *universal ISP programmer 1.03*, program *eagle* dan program *visual basic*. Bahan yang digunakan adalah sensor suhu tipe LM35DZ, sensor SHT 11, LDR (*Light Dependent Resistor*), batangan tembaga sebagai tahanan tanah (*stacker*), LCD (*Liquid Cristal Display*), mikrokontroler AVR ATmega8535, *printed circuit board* (PCB) *single layer* dan *matrix*, dudukan untuk mikrokontroler, ICmax dan *Op-Amp*, komponen elektronika aktif dan pasif seperti IC *Op-Amp*, resistor, kapasitor, dioda, *crystal*, IC *max*, kabel warna (kabel *jumper*), kipas angin, pompa aquarium dan lampu fotosintesis, relay DC 5V, dan kabel RS 232, LED (*Light Emitted Diode*). Bahan baku yang dijadikan percobaan dalam penelitian ini adalah tanaman



Gambar 1. Prototipe *greenhouse* dengan rancangan pengukur iklim mikro

sawi hijau (*Brassica rapa var. parachinensis* L.). Media yang digunakan adalah tanah dan kompos tanpa penambahan unsur lain.

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian diawali dengan pembuatan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Sebelum digunakan, alat terlebih dahulu dikalibrasi. Langkah selanjutnya adalah mengetahui syarat pertumbuhan tanaman sawi dengan *setting point* desain rancangbangun aktuator. Tujuannya adalah mencegah ketidaksesuaian iklim mikro yang ada di dalam *greenhouse* dengan syarat pertumbuhan. Suhu ideal tanaman sawi adalah 22 – 33 °C dengan kelengasan tanah 60 - 88 %. Nilai *setting point* yang digunakan dalam pengendali adalah 33 °C (kipas on) dan 32 °C (kipas off), sedangkan kelengasan tanah 60 % (Pompa on) dan 70 % (Pompa off).

Variabel pengamatan yang dilakukan dalam penelitian adalah suhu lingkungan rancangan di *greenhouse* dan *setting point* aktuator kipas, kelengasan tanah rancangan dan *setting point* aktuator pompa air, serta intensitas sinar matahari rancangan dan *setting point* aktuator lampu fotosintesis buatan. Tinggi, berat tanaman, dimensi, dan jumlah daun di dalam kontrol dan di luar kontrol yang diukur pada saat panen. Data diukur setiap 10 menit selama 32 hari masa budidaya tanaman sawi. Data iklim mikro dikirim ke komputer yang selalu aktif selama masa pengamatan.

Kinerja aktuator dalam sistem kontrol diukur berdasarkan kestabilan (*stability*), ketelitian/akurasi (*accuracy*), dan kecepatan pengendalian (*speed of actuator kontrol*) aktuator untuk mengendalikan kondisi iklim mikro. Untuk melihat perbedaan hasil tanaman dengan dan tanpa kontrol yang dilakukan dengan pengukuran berat tanaman (gram), tinggi tanaman (cm), dimensi daun yang meliputi panjang, lebar daun terbesar (cm), dan jumlah daun yang dilakukan pada saat panen. Perbedaan antara tanaman dengan kontrol dan tanpa kontrol ditampilkan dalam grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangbangun Aktuator Otomatis

Modul utama pada rancangbangun ini merupakan rangkaian utama yang dikendalikan oleh mikrokontroler AVR ATmega8535. Modul ini merupakan *central circuit* yang terhubung dengan semua sistem pada rancangan (Gambar 2). Sensor suhu lingkungan diletakkan sejajar dengan tinggi tanaman di dalam *greenhouse*. Dalam penelitian, sensor ini mengukur suhu lingkungan dari 20 hingga 40 °C selama 32 hari pengamatan.

Sensor suhu tanah ditanam di dalam tanah di dalam *greenhouse*. Dalam penelitian, sensor ini mengukur suhu

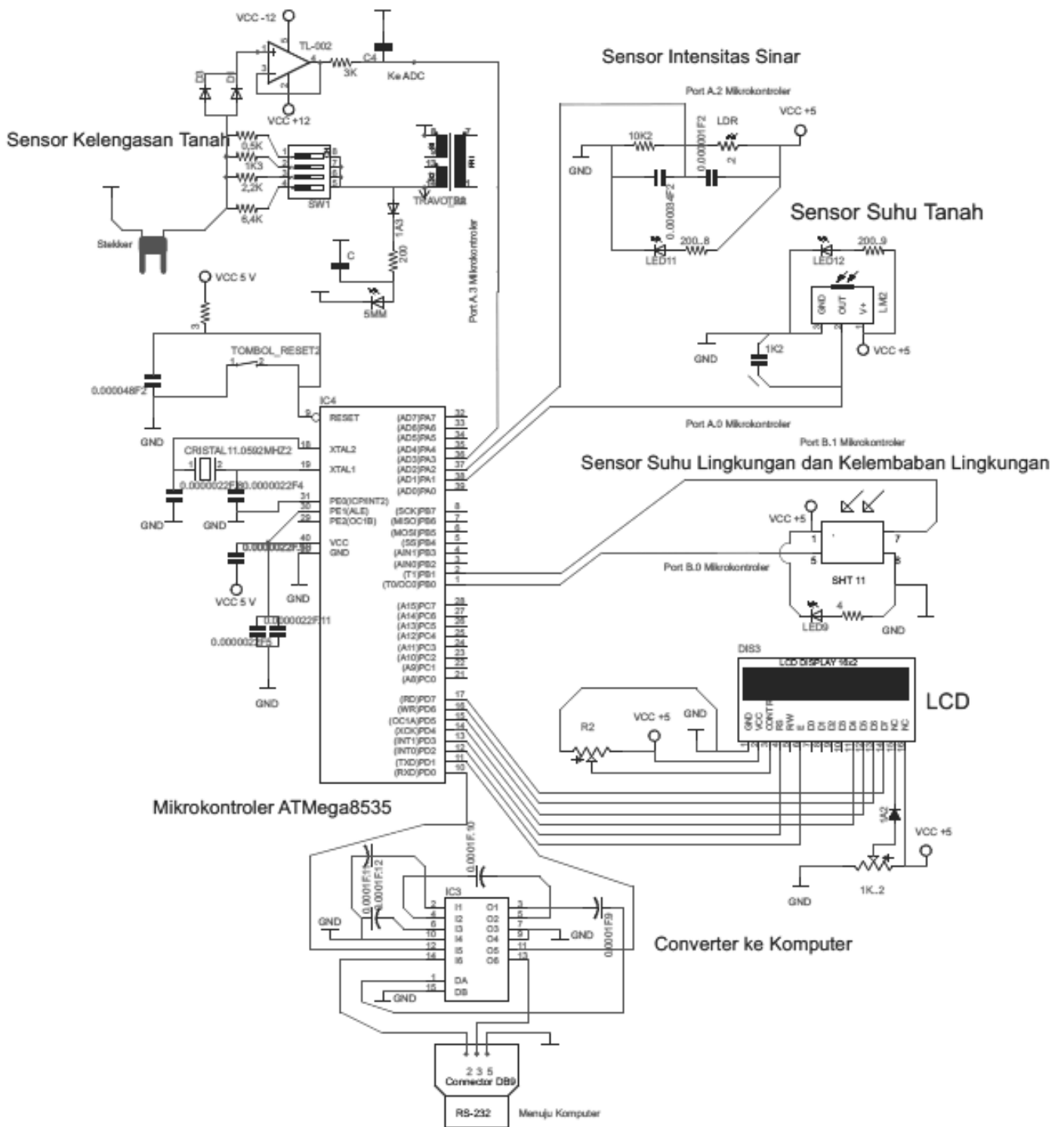
tanah dari 23 hingga 33 °C selama 32 hari pengamatan. Sensor digunakan sebagai akuisisi data suhu tanah selama pengendalian iklim mikro. Sensor ini tidak memiliki aktuator karena suhu lingkungan di daerah Yogyakarta tergolong tidak terlalu dingin dan tidak terlalu panas.

Sensor kelembaban udara diletakkan sejajar dengan tinggi tanaman di dalam *greenhouse*. Dalam penelitian, sensor ini mengukur kelembaban iklim mikro dari 40 hingga 90 % selama 32 hari pengamatan. Sensor digunakan sebagai akuisisi data kelembaban lingkungan selama pengendalian iklim mikro. Sensor kelengasan tanah ini dilengkapi dengan pembagi tegangan AC 6V yang kemudian disearahkan menjadi tegangan DC sebagai *input buffer* dengan menggunakan *Op-Amp* tipe TL-074. Rangkaian sensor ini dirancang dengan modul seluas (10 x 10) cm² di *circuit* elektronika dengan lampu indikator. Sensor ini memiliki aktuator pompa air untuk mengendalikan kadar lengas di dalam tanah. Sensor intensitas sinar matahari ini dilengkapi dengan modul seluas 5 cm x 3 cm di *circuit* elektronika dan sebuah lampu indikator. Sensor ini terhubung dengan *port.A* mikrokontroler yang dipasok oleh tegangan dari *power supply* sebesar 5 Volt (Gambar 2). Sensor ini memiliki aktuator lampu fotosintesis buatan yang bertujuan untuk membantu proses fotosintesis tanaman.

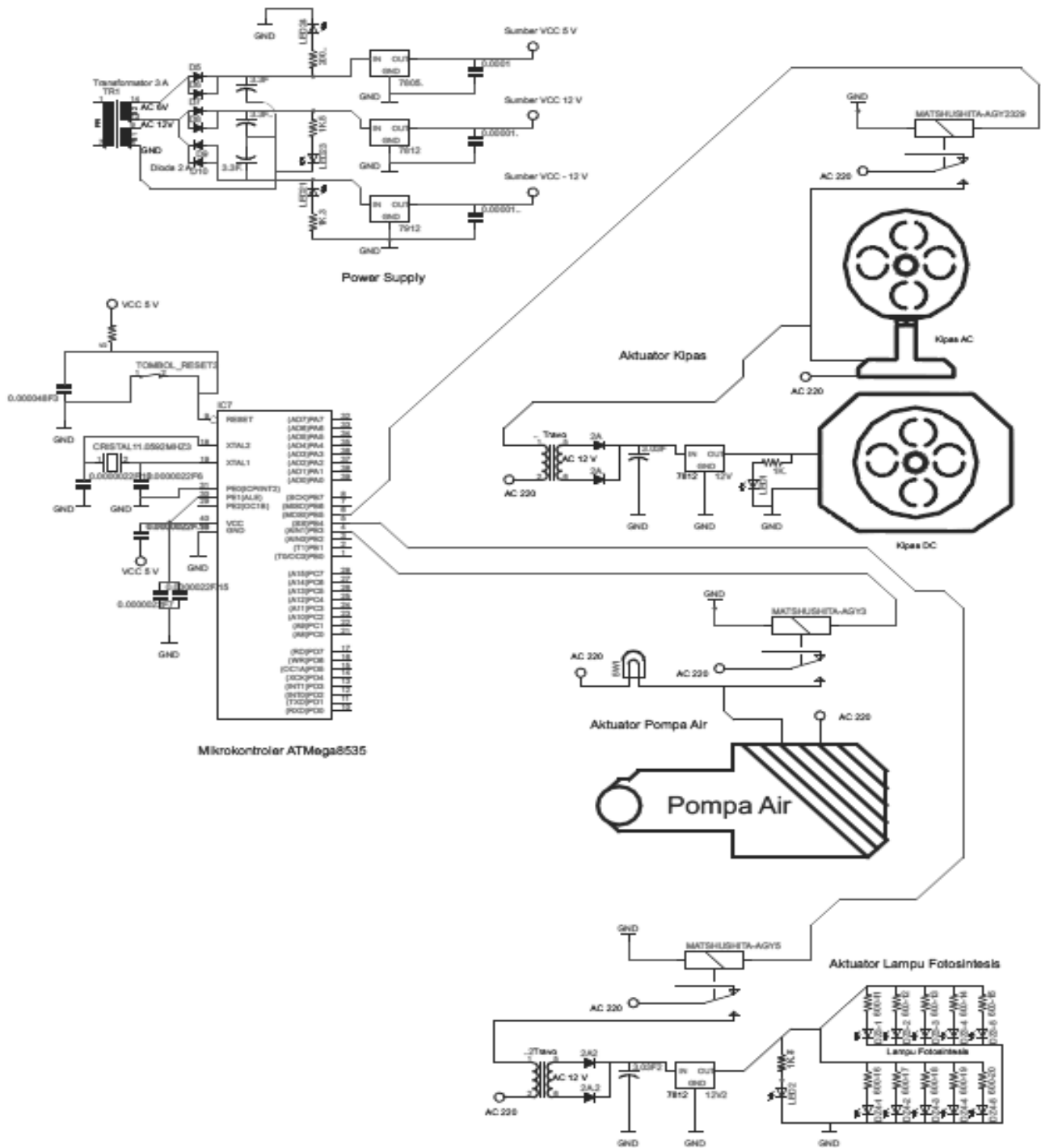
Aktuator

Untuk mengendalikan suhu lingkungan dilakukan dengan menggunakan aktuator kipas karena lebih efisien dalam penggunaan energi dibanding *Air Conditioner*. Suhu luar yang mencapai 44 – 48 °C membuat pengendalian suhu mikro dengan penggunaan aktuator kipas memerlukan waktu yang lebih lama. Aktuator kipas pada penelitian ini menggunakan lima buah kipas, antara lain dua kipas AC dan tiga kipas DC. Aktuator kipas dapat menurunkan suhu 44 °C menjadi 33 °C. Sistem kerja dari aktuator ini yaitu menghembuskan udara panas keluar *greenhouse* dan menggantikannya dengan udara di sekitar aktuator yang lebih dingin.

Aktuator pompa air mengendalikan kelengasan tanah sesuai dengan *setting point* yang diberikan yaitu 60 - 70 %. Pompa terhubung dengan sebuah selang air yang menghubungkannya dengan pipa *sprayer*. Pipa diletakkan di sepanjang tepi pot tanaman dalam *greenhouse*. Pipa *sprayer* ini menyemprotkan air sebesar ± 168 mL setiap tahapnya, jika sensor mengukur nilai kelengasan tanah kurang dari *setting point*. Aktuator lampu fotosintesis buatan dirancang dengan menggabungkan dua jenis warna LED yaitu merah dan biru dengan komposisi 80 % merah dan 20 % biru (Ferry, 2007). Tegangan LED untuk LED merah adalah 1,5 Volt dan tegangan untuk LED biru adalah 1,7 Volt. Aktuator lampu fotosintesis ini dipasok oleh tegangan 12 V dari *powersupply* (Gambar 3).



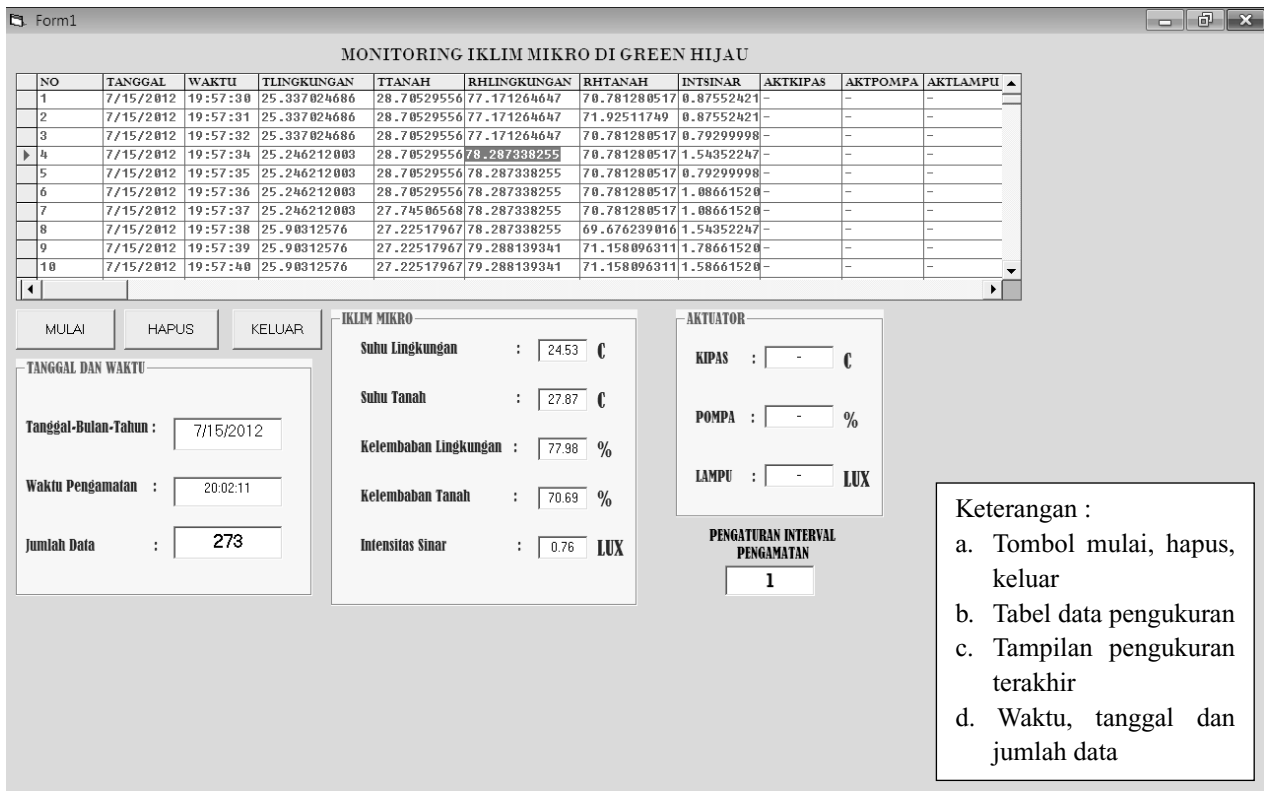
Gambar 2. Skematik rangkaian mikrokontroler dan sensor



Gambar 3. Skematik rangkaian mikrokontroler dan aktuator

Pembuatan program untuk merekam data iklim mikro pada penelitian ini menggunakan *software visual basic*. Program *monitoring* dilengkapi *database* untuk menyimpan data setiap pengukuran. Pada program ini tersedia kolom

nomor data, tanggal, waktu, suhu lingkungan, suhu tanah, kelembaban lingkungan, kelengasan tanah, dan intensitas sinar matahari. Program ini juga dilengkapi dengan tombol mulai, hapus, dan keluar (*exit*) (Gambar 4).



Gambar 4. Tampilan program monitoring

Kinerja Sistem Kontrol

Akurasi aktuator didefinisikan sebagai ketepatan aktuator mengendalikan iklim mikro sehingga sesuai dengan nilai *setting point* atau berada di zona terkontrol. Kecepatan pengendalian (*speed of kontrol*) didefinisikan sebagai rata-rata waktu yang dibutuhkan aktuator sistem kontrol untuk mengendalikan iklim mikro untuk mencapai nilai *setting point*. Akurasi aktuator kipas selama pengamatan 32 hari adalah 95,46 %. Kecepatan pengendalian suhu di dalam *greenhouse* selama 32 hari pengamatan adalah 58,70 menit dan sistem kontrol stabil. (Gambar 5a).

Rumus menghitung nilai keakurasian dari aktuator kipas adalah :

SN = selisih nilai aktual dan *setting point* (°C); SP = Nilai *setting point* (°C); AK = Nilai actual (°C); KTACC = Ketidakakurasian (%); ACC = Keakurasian (%)

$$SN = AK - SP \tag{1}$$

$$KTACC = \frac{SN}{SP} \times 100\% \tag{2}$$

$$ACC = 100 - KTACC \tag{3}$$

Contoh perhitungan pada suhu iklim mikro 36 °C :

$$SN = AK - SP$$

$$SN = 36 \text{ °C} - 33 \text{ °C}$$

$$SN = 3 \text{ °C}$$

$$KTACC = \frac{SN}{SP} \times 100\%$$

$$KTACC = \frac{3}{33} \times 100\%$$

$$KTTACC = 5,50$$

Maka :

$$ACC = 100 (\%) - KTTACC$$

$$ACC = 100 \% - 5,50\%$$

$$ACC = 94,50 \%$$

Berdasarkan contoh kasus di atas, akurasi aktuator kipas saat pengukuran pada 36 °C dengan suhu *setting point* 33 °C adalah 94,50 %.

Rumus menghitung kecepatan pengendalian (*speed of kontrol*) dari aktuator kipas adalah :

KR = Kecepatan pengendalian (menit); WP = Waktu pengendalian (menit)

JO = Jumlah aktuator on ;

$$KR = \frac{WP1 + WP2 + WP3 + \dots + WPn}{JO} \tag{4}$$

Contoh perhitungan dengan 3 data lama pengendalian yaitu 20, 50, dan 380 menit,:

$$KR = \frac{WP1 + WP2 + WP3}{JO}$$

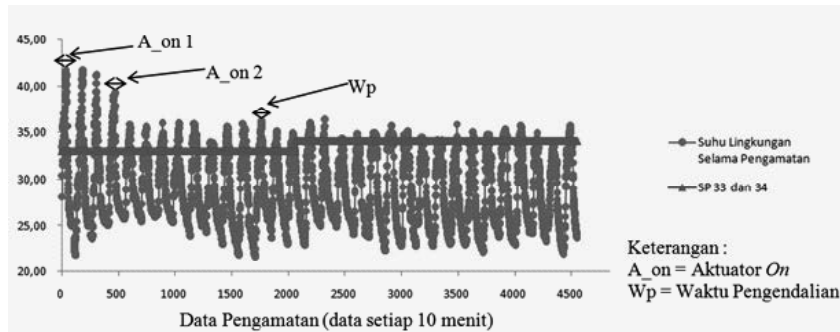
$$KR = \frac{20 + 50 + 380}{3}$$

$$KR = 150 \text{ menit}$$

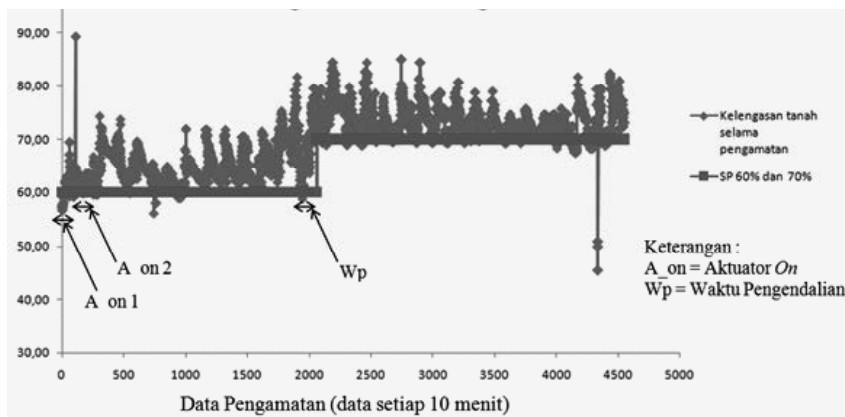
Akurasi pengendalian aktuator pompa selama 32 hari adalah 98,01 %. Perhitungan akurasi pengendalian aktuator pompa sama dengan cara perhitungan pada aktuator kipas.

Kecepatan pengendalian alat untuk menambah lengas tanah 31,83 menit (Gambar 5b) dan penyiraman dilakukan sebanyak 168 mL setiap tahapnya. Aktuator kelengasan tanah relatif stabil.

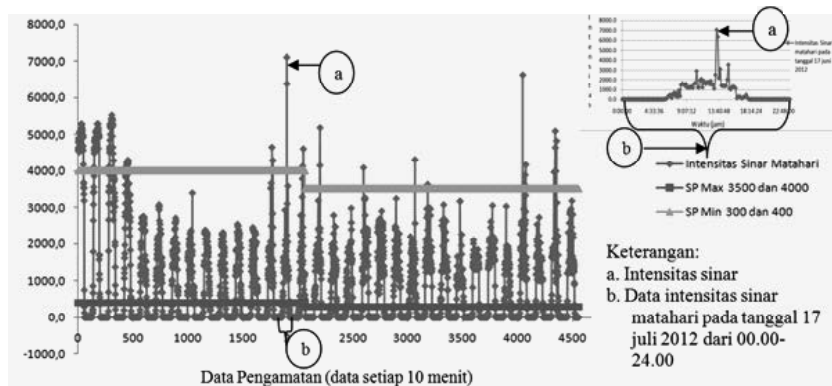
Kecepatan respon terhadap *setting point* rancangan alat untuk menyalakan lampu fotosintesis buatan membutuhkan waktu < 1 detik (± 10 mS). Hal ini disebabkan kecepatan mikrokontroler untuk mengeksekusi perintah memerlukan



(a)



(b)



(c)

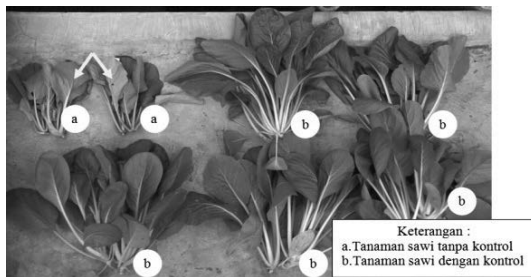
Gambar 5. (a). Data suhu lingkungan; (b). Data kelengasan tanah; (c). Data intensitas sinar matahari.

10 mS untuk setiap perintah (Wardana, 2006). Aktuator penyinaran dikatakan stabil. (Gambar 5c). Kestabilan sistem kontrol hasil rancangan menunjukkan bahwa alat ini cukup baik (tangguh) untuk budidaya tanaman sawi.

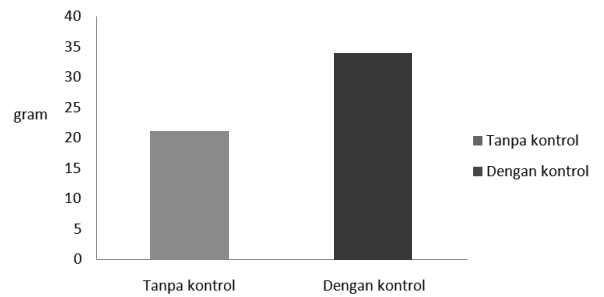
Hasil pengamatan secara umum menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman sawi di dalam *greenhouse* lebih baik dibandingkan dengan di luar *greenhouse* disebabkan karena suhu di dalam *greenhouse* lebih terkendali yang senantiasa berada di dalam toleransi pertumbuhan tanaman sawi. Hasil panen pertumbuhan tanaman sawi tanpa kontrol dengan rata-rata berat 27,20 gram, tinggi rata-ratanya 21 cm. Rata-rata panjang dan lebar daun adalah 11,60 dan 9,15 cm. Jumlah daun berkisar antara 9 - 10 helai daun. Rata-rata berat tanaman dengan kontrol adalah 81,81 gram, rata-rata tinggi tanaman

33,39 cm, rata-rata panjang dan lebar daun 15,73 dan 10,53 cm. Jumlah daun sekitar 16 - 17 helai daun (Gambar 6.a).

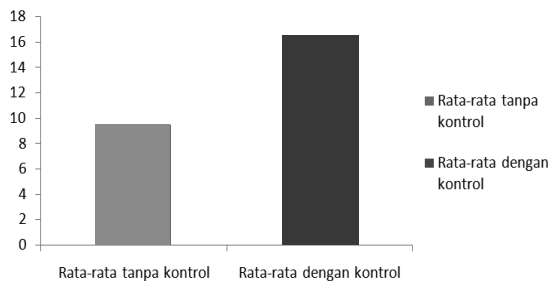
Pertumbuhan tanaman sawi di dalam penelitian ini dipacu oleh adanya lampu fotosintesis buatan. Lampu ini berfungsi untuk membantu proses fotosintesis berlangsung optimal ketika cuaca mendung atau sinar matahari dihalangi oleh awan. Rancangan sistem kontrol dengan aktuator seperti kipas, pompa air, dan lampu fotosintesis saling membantu dalam memenuhi persyaratan pertumbuhan tanaman sawi di dalam *greenhouse*, agar tanaman tumbuh lebih optimal sehingga diperoleh hasil panen lebih baik. Ciri fisik tanaman yang berada di dalam *greenhouse* adalah tinggi dan berat tanaman yang lebih baik, dimensi daun yang lebih besar, dan jumlah daun yang lebih banyak daripada tanaman di luar *greenhouse* (Gambar 6.b – gambar 6.f).



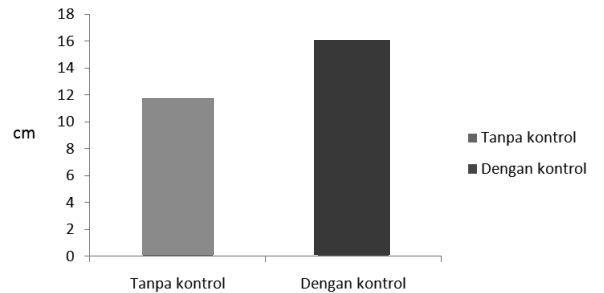
(a)



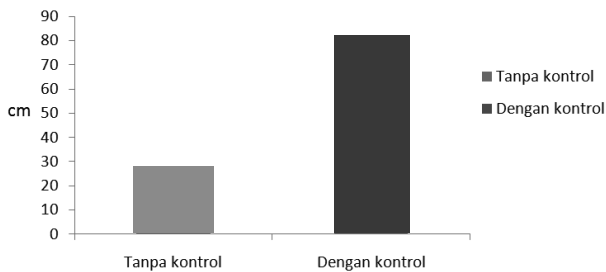
(d)



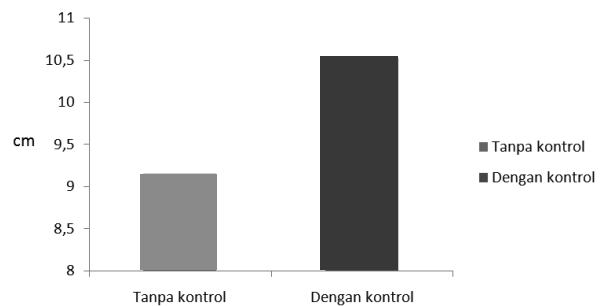
(b)



(e)



(c)



(f)

Gambar 6. (a). Perbandingan tanaman sawi; (b). Perbandingan jumlah daun; (c). Perbandingan tinggi tanaman; (d). Perbandingan berat tanaman; (e). Perbandingan panjang daun; (f). Perbandingan lebar daun

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, rancangan aktuator pengendali iklim mikro di *greenhouse* selama pengamatan 32 hari menunjukkan kinerja yang sangat baik. Hal ini dibuktikan dengan sistem aktuator kipas stabil yang mencapai akurasi 95,46 %, durasi aktuator kipas mengendalikan suhu iklim mikro adalah 58,70 menit. Aktuator pompa air stabil dengan akurasi mencapai 98,01 %, dan nilai kecepatan untuk mengendalikan kelengasan tanah adalah 31,83 menit. Kecepatan respon aktuator menyalakan lampu fotosintesis membutuhkan waktu ± 10 mS. Aktuator lampu fotosintesis buatan stabil. Melalui grafik hasil panen tanaman sawi menunjukkan bahwa, tanaman yang berada di dalam *greenhouse* memiliki tinggi, dimensi daun, berat basah, dan jumlah daun yang lebih besar dibandingkan dengan di luar *greenhouse*.

DAFTAR PUSTAKA

- Diansari, M. (2009). *Pengaturan Suhu, Kelembaban, Waktu Pemberian dan Pembuangan Nutrisi dalam Hidroponik*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Ferry, P. (2007). *Pengaruh Cahaya Terhadap Pertumbuhan Tanaman Sawi Keriting (Brassica juncea L.) dalam Polybag*. Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Gallagher (1990). *All About Biology*. Oxford University Press, Oxford.
- Haryanto, E. dan Suhartini, T. (2002). *Sawi dan Selada*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Isnaen, N. (2010). *Desain Otomatisasi Suhu dan Kelembaban Berbasis Mikrokontroler untuk Peningkatan Produktifitas Jamur Merang*. Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Opena, G. B. & Porter, G. A. (1999). Soil management and supplemental irrigation effects on plant. Root growth. II. *Agronomy Journal* **91**: 426-431.
- Perwtasari, B., Tripatmasari, M., dan Wasonowato, C. (2012). Pengaruh media tanah dan nutrisi terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman pakchoi (*Brassica juncea* L.) dengan sistem hidroponik. *Agrovigor* **5**(1):14-25
- Samiati, B.A. dan Safuan, L.O. (2012). Pengaruh takaran mulsa terhadap pertumbuhan dan produksi sawi (*Brassica juncea* L.). *Penelitian Agronomi* **I**(2): 121-125.
- Suhardiyanto, H., Sukoco, H., Guritman, S., Prabowo, Y. dan Saptasari, H.K. (2012). *Aplikasi PLC untuk Mengendalikan Lingkungan Pertumbuhan Tanaman Krisan pada Sistem Ebb and Flow*. Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Wahyu (2009). *Rancang Bangun Rumah Kaca (Greenhouse) serta Monitoring Kelembaban dan Suhu pada Tanaman Hidroponik Sistem NFT (Nutrient Film Technique)*. Jurusan Teknik Instrumentasi. Institut Teknologi Surabaya, Surabaya.
- Wardana, L. (2006). *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega8535*. Penerbit Andi, Yogyakarta.