

DESAIN SISTEM KONTROL RUANG PERTUMBUHAN ULAT SUTERA UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS PRODUKSI SUTERA ALAM

(Design of Control System for Silk Worm's Growth Chamber to Improve the Quality of Raw-Silk Produced)

Lilik Sutiarto¹⁾, Atris Suyantohadi²⁾, Hari Purwanto³⁾

ABSTRACT

The world demand of raw-silk provides a great opportunity to the development of raw-silk production in Yogyakarta. Recently, only 21% out of the overall world demand of raw-silk is fulfilled, whereas Indonesia contributes only 0.1% per year. The main problem is the lack of quality of raw-silk.

The optimum growth of silkworm depends on micro environments, i.e. temperature, humidity, aeration, and light intensity. The research was aimed, to apply an automated "on/off" control technology in the silkworm rearing environmental monitoring. The result expected is high-grade quality of cocoon. In the research, two different conditions of silkworm growing environments were compared: controlled environment (in the rearing box) and normal environment. Then, from third instar (silkworm's growth stage) to cocoon's stage (final stage or fifth instar), temperature and air humidity were set on 24°C - 26°C and 70% - 80% respectively. While, Aeration and light intensity were ranged 0.1 - 0.3 m/s and 15 - 30 lux for all instar stages (constant) respectively.

The result indicated that there was an increasing the percentage of cocoon skin's grade in the controlled rearing environment (19.66%), compared to the result of normal rearing environment (18.56%), also there was significantly different result on the thickness of the cocoon produced.

Keyword: raw-silk, micro environmental controlling, cocoon quality.

PENDAHULUAN

Sejalan dengan perkembangan teknologi serta kebutuhan sutera dunia yang semakin meningkat, mengakibatkan makin sulitnya produsen memperoleh serat sutera. Kebutuhan benang sutera dunia yang berasal dari *Bombyx mori* L. (Lepidoptera : *Bombycidae*) sebesar 92.743 ton/tahun, dan baru dapat tercukupi sebanyak 83.393 ton/tahun (Anonim, 2004). Di Indonesia, permintaan benang sutera juga terus meningkat, tingkat konsumsi sutera Indonesia telah mencapai 600 ton/tahun, namun sejauh ini baru dapat terpenuhi 150 ton/tahun dari produk sutera rakyat.

Kendala utama dalam usaha pengembangan sutera alam di tingkat perdagangan ekspor, khususnya di Daerah Istimewa Yogyakarta adalah kualitas produksi benang sutera sebagai bahan baku industri tekstil belum memenuhi standar yang ditetapkan. Kondisi saat ini menunjukkan bahwa hasil produksi kokon sutera alam sebagian besar masih terkategori pada kualitas sedang dan rendah (*grade B dan C*) dengan berat rata-rata kokon basah sebesar 500 - 550 per kg. Disamping kualitas B dan C yang telah dapat dicapai di tingkat sentra petani sutera alam, faktor waktu produksi, sistem produksi, bentuk, ukuran dan warna kokon belum dapat seragam. Kondisi ini terjadi disebabkan karena petani

kurang memperhitungkan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan ulat sutera selama pemeliharaan (Suyantohadi, 2002).

Pertumbuhan dan perkembangan ulat sutera tidak hanya ditentukan oleh faktor internal tetapi juga ditentukan oleh faktor lingkungan eksternal, antara lain; temperatur dan kelembaban nisbi udara, aerasi udara, pencahayaan (Atmosoedarjo, 2000). Rendahnya kualitas kokon yang dihasilkan oleh para petani dapat terjadi karena tidak adanya sistem lingkungan pemeliharaan yang terkontrol untuk menjaga kestabilan ideal bagi pertumbuhan *Bombyx mori* L.

Untuk mengatasi kendala produksi yang dihadapi oleh petani ulat sutera, diperlukan pengembangan dan aplikasi teknologi dalam mengendalikan iklim mikro pada ruang/kandang pemeliharaan yang dapat dikontrol sesuai dengan nilai referensi yang telah ditetapkan berdasar pada hasil-hasil penelitian sebelumnya (Krishnaswami, 1973).

METODOLOGI PENELITIAN

1. Tempat dan Subyek Penelitian

Tempat yang digunakan untuk melakukan semua tahapan kegiatan penelitian terkait dengan sistem kontrol iklim mikro ruang pemeliharaan ulat sutera tersebut yaitu; (i) Laboratorium Lapangan Entomologi, Fakultas Biologi UGM sebagai tempat/lahan penanaman pohon murbei (*morus sp.*), (ii) Laboratorium Instrumentasi dan Teknik Kontrol, Fakultas Teknologi Pertanian UGM sebagai tempat pembuatan/perakitan baik perangkat keras (*hardware*) dan lunak (*software*) dari sistem kontrol ruangan pemeliharaan ulat sutera, (iii) Laboratorium Biophysik, Fakultas Teknologi Pertanian UGM sebagai tempat untuk menempatkan ruang/kandang pemeliharaan, baik kandang tertutup terkendali dan terbuka tanpa perlakuan dan (iv) Sentra Usaha / Koperasi Sutera Alam "Merapi" Kecamatan Pakem Kab. Sleman DIY sebagai tempat pembelian bibit ulat sutera dan analisis kualitas/mutu kokon yang diproduksi dari hasil penelitian.

Subyek dalam penelitian ini adalah desain dan mekanisme kontrol pertumbuhan ulat sutera untuk meningkatkan kualitas produksi sutera alam.

2. Alat dan Bahan Penelitian

Bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu bahan utama dan pendukung. Adapun bahan utama yang dipergunakan adalah : (i) ulat sutera Instar III *Bombyx mori* L. (ii) daun murbei *Morus sp.* sebagai bahan pakan, (iii) kaporit dan kapur gamping sebagai desinfektan (sterilisasi) ruangan dan (iv) *humidifier, exhauster, lampu, thermometer, anemometer, dan instrumen ukur lainnya.* Sedangkan bahan-bahan pendukung yang juga dipersiapkan, antara lain: bahan untuk pembuatan kandang dan perangkat peralatan untuk pemeliharaan ulat sutera.

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertanian, Fak. Teknologi Pertanian UGM

²⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fak. Teknologi Pertanian UGM

³⁾ Staf Pengajar Fakultas Biologi UGM

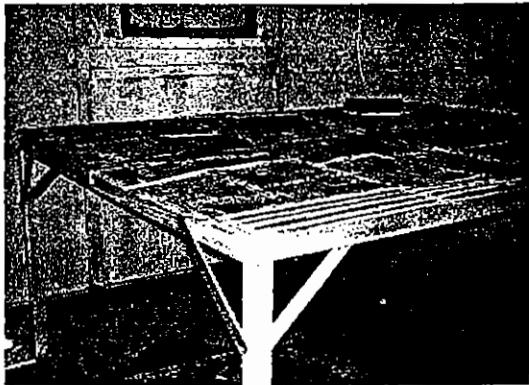
3. Tahapan Penelitian

Dalam menjabarkan detail tahapan penelitian dapat dipisahkan dalam tiga hal, yaitu (i) pembuatan ruang pemeliharaan, (ii) pembuatan sistem kontrol ruangan, baik perangkat keras dan lunak, (iii) pemeliharaan ulat sutera.

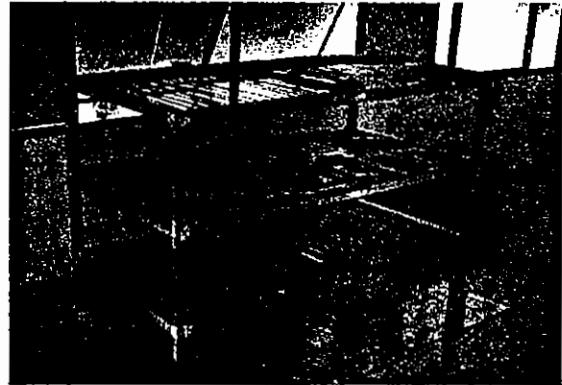
a. Pembuatan ruang pemeliharaan

Ruang pemeliharaan ulat sutera dibuat sebanyak dua unit, unit pertama adalah ruang pemeliharaan tanpa sistem kontrol dengan ukuran 2m x 1m x 1,5m dan dirancang menjadi 3 tingkat, agar mampu menampung ulat

sutera sebanyak ±2000 ekor. Sedangkan unit kedua dirancang dengan sistem kontrol terdiri atas dua bagian, yaitu ruang pemeliharaan dengan ukuran 3,6m x 3m x 2,4m, dan meja pemeliharaan berukuran 2,2 m x 1,8 m x 1 m dengan pertimbangan dapat menampung ulat sebanyak ±2000 ekor. Ruang pemeliharaan difungsikan sebagai pembatas antara lingkungan pemeliharaan terkontrol dengan lingkungan luar. Meja pemeliharaan merupakan media tempat pemeliharaan ulat sutera yang terkontrol (lihat Gambar 1).



(a)



(b)

Fig. 1. Silk worm's growth chamber (a) uncontrolled system; (b) controlled system

b. Pembuatan sistem kontrol ruangan

Model kontrol pemeliharaan ulat sutera dikembangkan dengan sistem kontrol "on-off" untuk melakukan fungsi-fungsi pengendalian ruang pemeliharaan selama phase pertumbuhan ulat sutera berdasarkan identifikasi faktor yang mempengaruhi pertumbuhan ulat sutera, yaitu; temperatur, kelembaban udara, aerasi udara dan pencahayaan ruangan dalam ruang pemeliharaan ulat sutera.

Tahapan yang dilakukan dalam menyusun sistem kontrol ruang pemeliharaan adalah : (i) penyusunan perangkat lunak (*software*) sebagai program pengendali sistem kontrol ruangan dan sekaligus untuk *data recording*, (ii) instalasi/pemasangan perangkat keras sistem kontrol (*hardware*) di dalam ruang pemeliharaan, antara lain : sensor, motor penggerak, *relay*, jaringan, (iii) kalibrasi sensor dengan alat ukur standar manual, untuk mengurangi kesalahan dalam pengukuran. Secara skematis rancangan model sistem kontrol dapat dilihat pada Gambar 2.

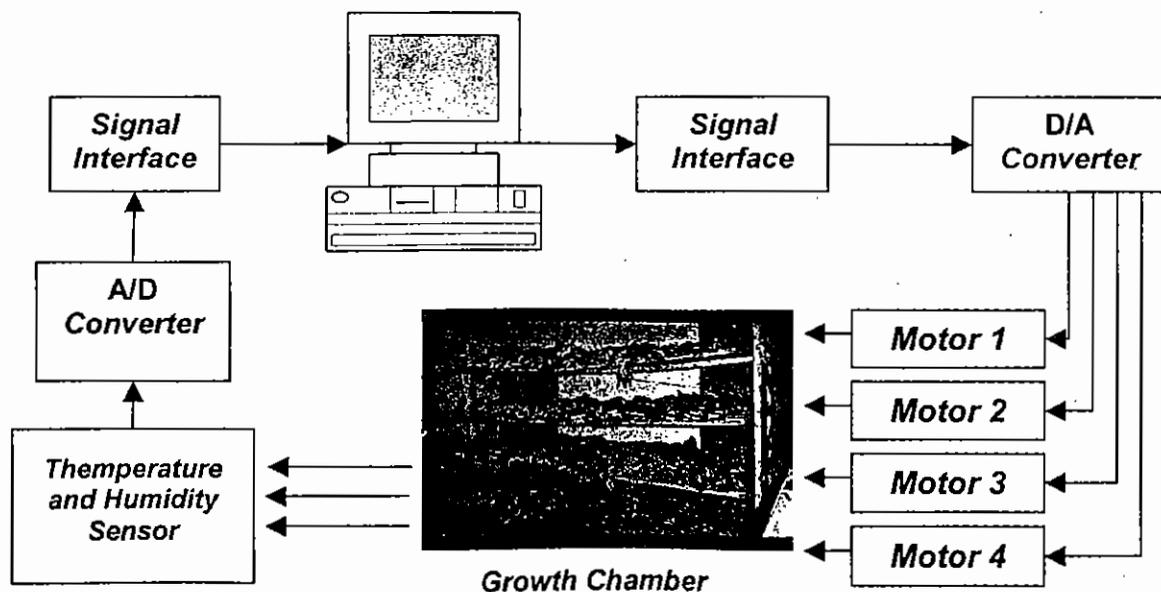


Fig. 2. Design of a controlled silk worm's growth chamber

c. Pemeliharaan ulat sutera

Ulat sutera *Bombyx mori* L. dipelihara di ruangan yang telah dilengkapi dengan alat pengontrol temperatur dan kelembaban udara pada tiap kelompok. Pada interval waktu tertentu, temperatur dan kelembaban udara diamati dan dikontrol, serta dijaga agar tetap stabil sesuai dengan kondisi yang optimal (Veda et al., 1997). Adapun data kondisi ideal yang diharapkan dapat dilihat pada Lampiran 1. Pemberian pakan dilakukan setiap saat untuk mencegah ulat kekurangan pakan dengan dosis pemberian disesuaikan menurut tahapan instar dan jumlah ulat.

4. Rancangan Percobaan

Penelitian ini dilakukan dengan tiga kali ulangan pemeliharaan. Pada setiap pemeliharaan, ulat sutera yang dipakai sebanyak 1/4 kotak (sekitar 4000 – 5000 bibit ulat) yang diambil dari kelompok tani Koperasi Sutera Alam "Merapi". Kemudian dibagi dalam dua blok, yaitu blok yang berada di dalam ruang pemeliharaan dengan kondisi sistem terkontrol dan blok perlakuan yang berada di luar ruang pemeliharaan dengan kondisi sistem tidak terkontrol. Tiap blok terdiri dari delapan (8) kelompok untuk memudahkan dalam pengamatan dan pengukuran.

5. Analisa Kinerja Sistem Kontrol dan Kualitas Kokon

Dalam melakukan analisis kinerja sistem kontrol, ada dua pendekatan yang akan digunakan, yaitu (i) kajian sistem didasarkan pada kinerja masing-masing komponen

pengendali (temperatur, kelembaban, aerasi udara dan pencahayaan ruangan) dan (ii) kajian sistem secara terintegrasi menyeluruh, dengan menggunakan empat parameter (stabilitas, akurasi, kecepatan respon dan sensitivitas). Analisa kinerja sistem kontrol didasarkan pada data yang direkam per 15 menit untuk pengamatan 24 jam per hari.

Untuk mengetahui dampak dari penggunaan sistem kontrol terkait dengan peningkatan kualitas kokon didasarkan pada beberapa parameter (Sunanto, 1997), yaitu (i) banyaknya daun yang dikonsumsi oleh ulat selama pemeliharaan, (ii) peningkatan berat badan ulat sutera, (iii) karakteristik kualitas kokon, (iv) persentase keberhasilan hidup ulat sutera menjadi kokon. Ada lima komponen dalam menilai kualitas kokon, yaitu (i) panjang kokon, (ii) diameter luar kokon, (iii) tebal kokon dan (iv) persentase kulit kokon, serta (v) berat kokon.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Instalasi *Hardware* Sistem Kontrol

Dengan berdasarkan pada desain sistem kontrol ruang pemeliharaan (Gambar 2), ada empat parameter yang dikendalikan yaitu; (i) temperatur, (ii) kelembaban udara, (iii) aerasi udara dan (iv) pencahayaan dalam ruangan. Adapun secara skematis rangkaian sistem kontrol yang telah dibuat seperti terlihat pada Gambar 3.

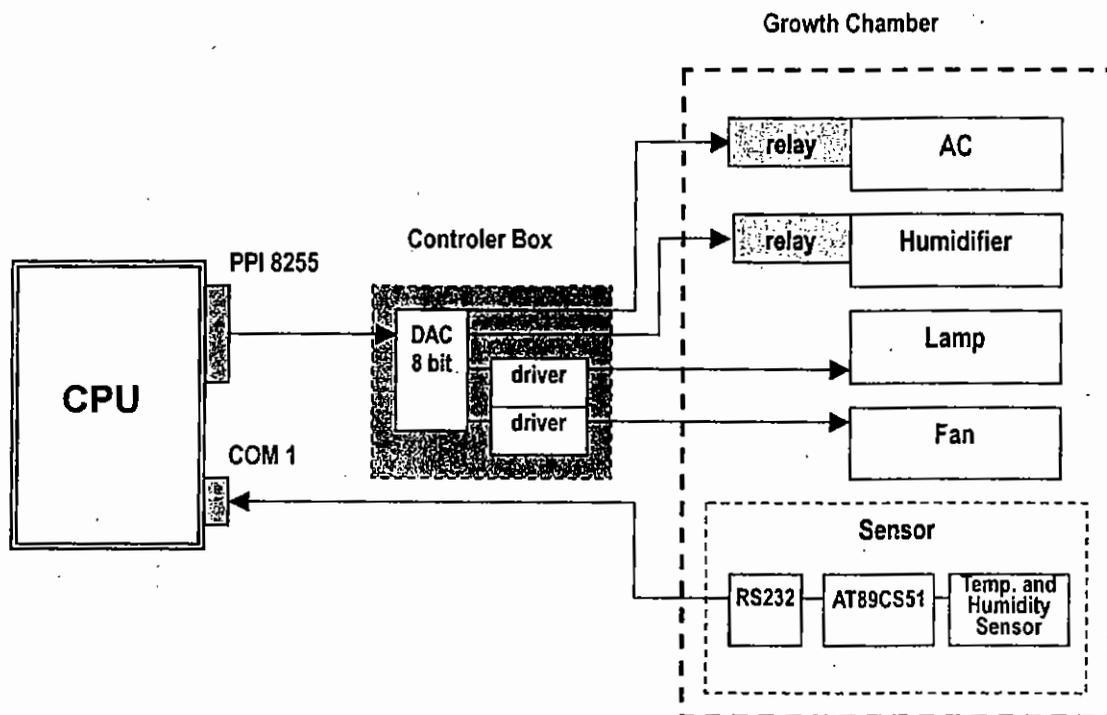


Fig 3. Hardware installation in controlled growth chamber

Komputer (CPU) berfungsi sebagai pusat pengendali dari jalannya semua komponen sistem dengan menjalankan program (*software*) sistem kontrol serta *data recording* ke dalam media penyimpanan. Adapun prosesor komputer yang digunakan dalam penelitian ini adalah Pentium II.

Programmable peripheral interface (PPI) 8255 merupakan rangkaian antarmuka berfungsi untuk

menyesuaikan besarnya tegangan, arus, dan daya dari peranti peripheral dengan yang ada di dalam komputer, terutama berkaitan dalam kecepatan pengolahannya.

DAC (*Digital-to-Analog Converter*) berfungsi mengubah sinyal dari komputer yang berupa digital menjadi analog untuk mengendalikan rangkaian *driver* (Gayakwad and Sokoloff, 1988). Jenis DAC yang digunakan yaitu *Octal 8-Bit Digital-to-Analog Converters Type TLV 5628C*.

Output dari DAC inilah yang akan mengatur tegangan yang dikenakan pada beban 220V AC. Sedangkan ADC (*Analog-to-Digital Converter*) sudah terintegrasi menjadi satu unit dalam mikrokontroler yang menghubungkan antara sensor dengan komputer.

Penggerak (*driver*) berfungsi untuk mengatur dan menentukan besarnya tegangan yang masuk ke beban (*peripheral*), dalam penelitian ini terhubung dengan lampu dan kipas. Tegangan yang keluar dari DAC sebesar 0 – 5 volt dan diubah menjadi tegangan AC sebesar 0 – 220 volt. Jadi dapat dikatakan bahwa *driver* hanya bekerja ketika ada perubahan *setting point* khususnya untuk intensitas cahaya dan aerasi udara.

Relay adalah alat bantu yang digunakan pada sistem kontrol “on-off”, dimana keluaran dari konverter D/A yang berupa tegangan menjadi input bagi motor pengatur “on-off”, dalam hal ini adalah AC (*air conditioner*) dan *humidifier*.

Aktuator (motor) adalah komponen yang berfungsi untuk mengubah sistem sinyal output listrik menjadi aksi fisik. Sesuai dengan tujuan dalam penelitian ini, ada empat aktuator yang dipasang dalam rangkaian sistem kontrol, yaitu ; (i) *air conditioner* untuk temperatur, (ii) *humidifier* untuk kelembaban udara, (iii) 4 buah lampu untuk pencahayaan ruang dengan kekuatan masing-masing 25 watt, dan (iv) kipas angin untuk aerasi udara.

Sensor merupakan komponen yang berfungsi untuk mengubah besaran fisik menjadi besaran listrik yang proporsional. Dalam penelitian ini, sensor yang digunakan untuk mengukur gabungan besaran temperatur dan kelembaban ruang sekaligus (satu unit terintegrasi) adalah tipe SHT75. Logika yang ada pada komputer (*port COM-1*)

berkebalikan dengan yang di mikrokontroler, sehingga perlu disamakan dengan menggunakan konverter. Konverter yang digunakan adalah RS232. Mikrokontroler berfungsi untuk mengolah data yang dicatat oleh sensor suhu dan kelembaban. Pengolahan data tersebut berupa data 14 bit untuk sensor suhu dan 12 bit untuk sensor kelembaban. Adapun tipe mikrokontroler yang dipakai dalam penelitian adalah AT89CS51. Dari data mikrokontroler selanjutnya dikirim ke RS232 sebagai rangkaian antarmuka (*interface*) atau konverter yang berfungsi menghubungkan data tersebut dengan COM 1 di komputer.

Dalam proses pengaturan intensitas cahaya dan kecepatan putar kipas aerasi udara menggunakan prinsip yang sama yaitu metode PWM (*pulse width modulation*). Metode ini dipakai karena sistem kontrol yang digunakan untuk keduanya adalah sistem kontrol terbuka (*open loop control system*), artinya tegangan masukan dari sensor tidak akan mempengaruhi kerja dari lampu and kipas.

2. Desain Perangkat Lunak (*software*) Pengontrol

Kegiatan penelitian pemeliharaan ulat sutera berbasis sistem kontrol ini menggunakan perangkat lunak (*software*) Builder atau Visual C++ sebagai bahasa pemrograman. Visual C++ digunakan untuk membuat aplikasi *interfacing* komputer dan mikrokontroler berbasis Windows. Program ini digunakan untuk mengontrol semua fungsi-fungsi sistem kontrol mulai dari *running* sistem sampai proses kendali sistem. Adapun tampilan program dapat dilihat pada Gambar 4.

Empat langkah utama pengendalian yang dilakukan oleh program, yaitu (i) *start*, (ii) inisialisasi, (iii) *run* dan (iv) *stop*, dilakukan apabila kegiatan pemeliharaan sudah selesai sampai tahap pengokonan.

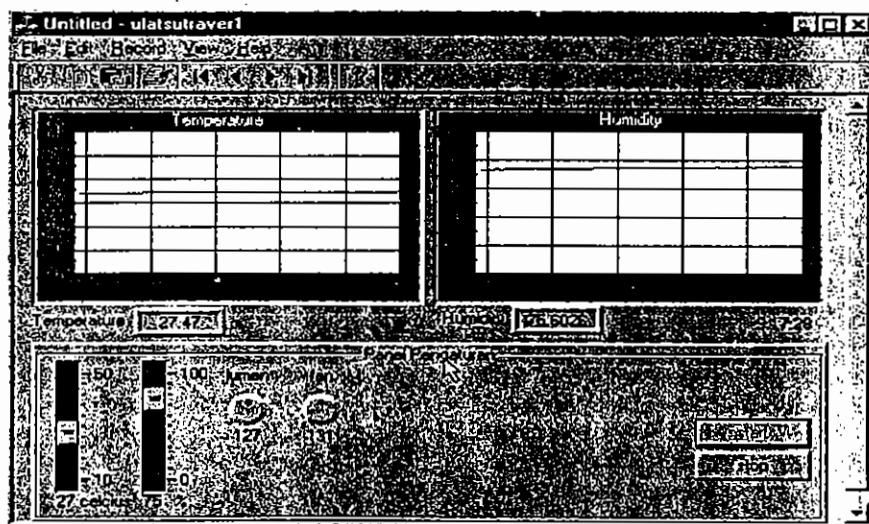


Fig. 4. Main menu of the controlling computer program

Penyimpanan data hasil pengukuran yang dilakukan oleh sensor, yaitu berupa data temperatur dan kelembaban lingkungan ruang pemeliharaan disimpan ke dalam bentuk basis data dengan menggunakan perangkat lunak “Microsoft Access”.

3. Kaliberasi Sensor

Proses ini dimaksudkan untuk mengurangi kesalahan pembacaan nilai parameter terukur. Kaliberasi

sensor dilakukan dengan membandingkan nilai yang terbaca secara berulang-ulang antara sensor dengan alat ukur manual, yaitu termometer untuk temperatur dan hygrometer untuk kelembaban, kemudian didapatkan persamaan regresi linear untuk dua hubungan alat ukur yang digunakan. Hubungan linear antara sensor temperatur dan termometer air raksa dapat dilihat pada Gambar 5, sedangkan untuk kelembaban dapat dilihat pada Gambar 6.

digunakan masih relatif rendah (kurang baik), yaitu 0,6827 untuk sensor temperatur dan 0,6289 untuk kelembaban. Sedangkan parameter aerasi udara dan intensitas cahaya ruangan tidak dilakukan kalibrasi, karena tidak

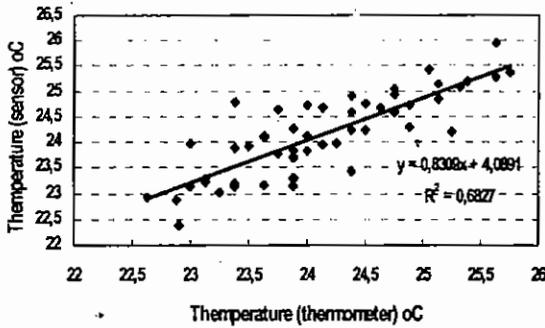


Fig. 5. Calibration of temperature sensor and thermometer

menggunakan sensor (*open loop control system*) dan pengukuran hanya menggunakan alat ukur manual, yaitu anemometer dan luxmeter.

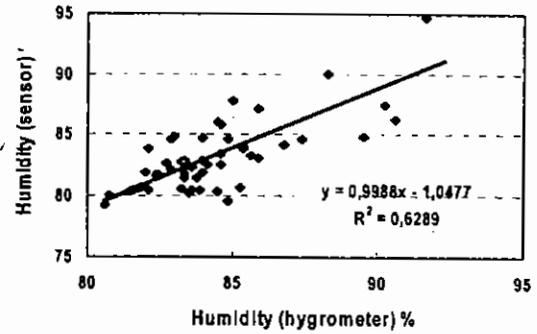


Fig. 6. Calibration of humidity sensor and hygrometer

4. Mekanisme Kerja Sistem Kontrol

Sistem pengontrolan dimulai dari penentuan *setting point* berupa nilai (angka) tertentu untuk masing-masing parameter temperatur, kelembaban, lampu (lumen) dan kipas (aerasi), kemudian menekan tombol "*start*" untuk memulai eksekusi. Sensor SHT75 yang merupakan gabungan sensor temperatur dan sensor kelembaban mendeteksi kondisi lingkungan ruang pemeliharaan. Kemudian mikrokontroler AT89CS51 yang terdapat di dalam box sensor melakukan pengolahan data yang berasal dari sensor yang masih berupa sinyal tegangan (analog). Data olahan berupa sinyal digital dikirim ke konverter RS232 yang menyalurkan data tersebut dengan COM 1 komputer. Setelah semua instruksi selesai dilakukan, selanjutnya pengiriman data sinyal digital hasil pengolahan ke PPI8255 sebagai *interface* ke box kontroler. Dalam box kontroler data sinyal digital dari PPI8255 tersebut diubah oleh konverter D/A TLV5628C untuk dijadikan sinyal tegangan (data) analog. Tegangan analog didistribusikan kepada 4 motor (*actuator*) yang ada untuk dilakukan aksi terhadap masukan dari sensor tadi. Pada AC (*air conditioner*) dan *humidifier*, aksi pengontrolan hanya berupa aksi kontrol *on-off*, yang dilakukan oleh *relay*. Sedangkan untuk aksi pengontrolan lampu dan kipas angin digunakan sistem kontrol terbuka dengan pertimbangan kurang signifikan / tidak ada gangguan dari luar melalui *driver*. Selama kondisi ideal belum didapatkan, maka AC dan *humidifier* akan terus hidup/menyala (kondisi "on"). Pada saat sudah dicapai kondisi *setting point*, maka keduanya akan mati karena tidak ada lagi tegangan yang masuk.

5. Analisis Kinerja Sistem Kontrol

a. Pengendali temperatur

Pengambilan data temperatur menggunakan dua cara/metode, yaitu (i) manual dengan menggunakan termometer dan (ii) otomatis. Jumlah titik pengamatan temperatur sebanyak 8 titik. Pencatatan data temperatur secara manual dilakukan tiga kali dalam sehari, yaitu jam 07:00, jam 12:00, dan jam 17:00. Hasil dari pengolahan data pengamatan temperatur secara manual dapat dilihat pada Gambar 7.

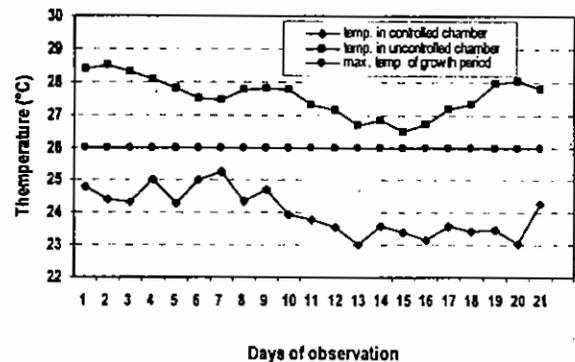


Fig. 7. Temperature change in the uncontrolled and controlled chamber

Dari Gambar 7. dapat diketahui bahwa temperatur di dalam ruang pemeliharaan lebih rendah daripada di luar ruangan (rak pemeliharaan tanpa kontrol). Temperatur di dalam ruang tidak pernah melebihi batas maksimum temperatur pemeliharaan, yaitu 26°C dan tercatat umumnya di bawah 25°C serta tidak pernah mencapai 20°C. Hal ini sudah sesuai dengan referensi kondisi temperatur pemeliharaan antara 20°C - 26°C (saat pengokonan).

Pengambilan data secara otomatis dilakukan dengan bantuan program Visual C++ ("ulatsuteraver1"). Data yang telah terekam dibuat grafik untuk melihat tingkat kestabilan sistem kontrol dalam merespon perubahan temperatur ruang, dan untuk melihat responnya terhadap perubahan *setting point* (Gambar 8). Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa

kemampuan sensor dalam hal merespon perubahan temperatur di dalam ruang pemeliharaan sesuai dengan *setting point* yang ditetapkan sudah cukup baik. Adanya nilai yang sangat ekstrim terlihat pada grafik bukan disebabkan oleh kondisi temperatur ruangan, melainkan oleh terganggunya komunikasi port serial.

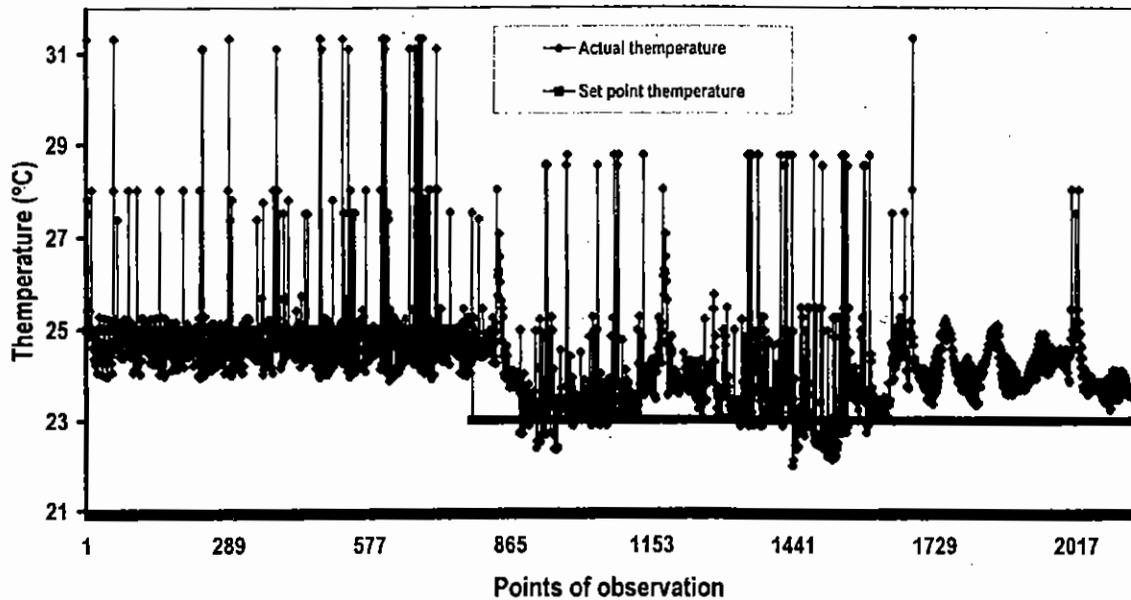


Fig. 8. Response level of temperature control due to setting point change

b. Pengendali kelembaban

Gambar 9 terlihat bahwa kondisi kelembaban di luar ruang pemeliharaan lebih fluktuatif dibanding kondisi di dalam ruang. Hal ini dikarenakan kondisi lingkungan di ruang tertutup kurang begitu terpengaruh terhadap

lingkungan dari luar dan dengan adanya sistem kontrol kelembaban dalam ruang pemeliharaan dapat meminimumkan fluktuasi kelembaban, dan nilainya mendekati interval *setting point* ($75\% \pm 5\%$).

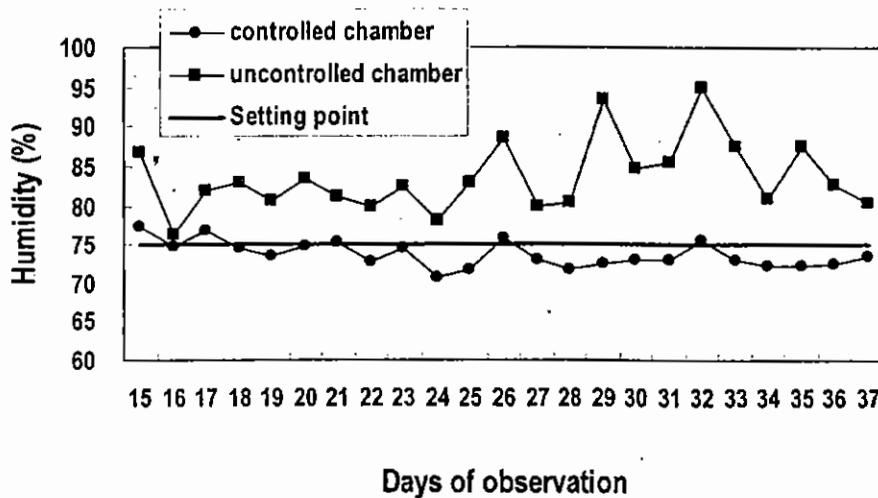


Fig. 9. Humidity change in the uncontrolled and controlled chamber

Hasil pembacaan sensor kelembaban pada waktu pemeliharaan diperoleh grafik respon kontrol kelembaban terhadap perubahan *setting point* (Gambar 10).

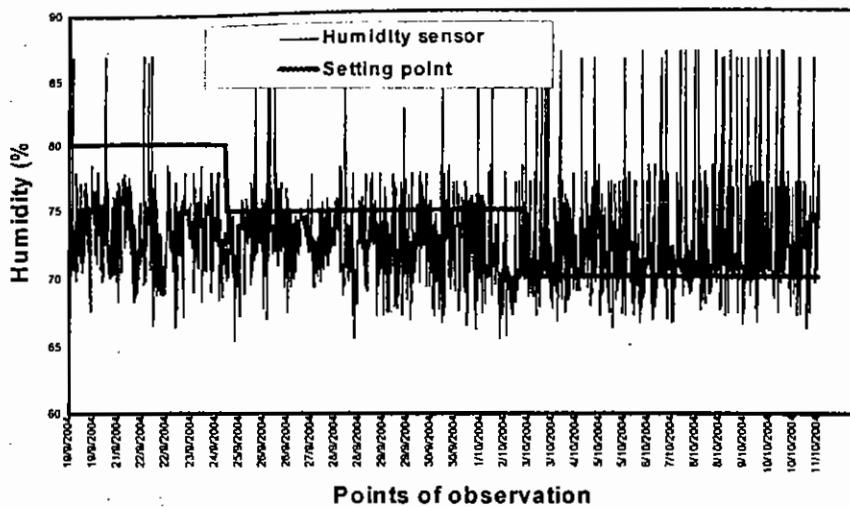


Fig. 10. Response level of humidity control due to setting point change

Dari grafik (Gambar 10) tersebut dapat diketahui bahwa pada umumnya kelembaban udara ruang pemeliharaan sudah sesuai dengan *setting point*, khususnya mulai pada instar ke IV dan V, sedangkan pada masa pemeliharaan instar ke III, kelembaban masih lebih besar di atas *setting point*. Hal ini menunjukkan bahwa respon pengendali kelembaban udara masih belum begitu cepat terhadap nilai *setting point*.

c. Pengendali aerasi udara dan intensitas cahaya

Dua variabel yang dikendalikan ini memiliki respon yang cukup cepat dibanding dengan temperatur dan kelembaban. Sistem ini lebih akurat dan stabil karena saat komputer mengatur nilai *setting point*, maka dengan cepat sistem menyesuaikan sesuai dengan nilai tersebut. Nilai intensitas cahaya dan laju aerasi yang diinginkan adalah konstan sehingga tidak perlu pengaturan berkala pada setiap fase pertumbuhan ulat sutera. Dari data pengamatan dapat dilihat nilai rata-rata laju aerasi masih berada pada batas yang diinginkan walaupun ada beberapa titik pengamatan yang tidak sesuai dengan nilai *setting point* (Gambar 11).

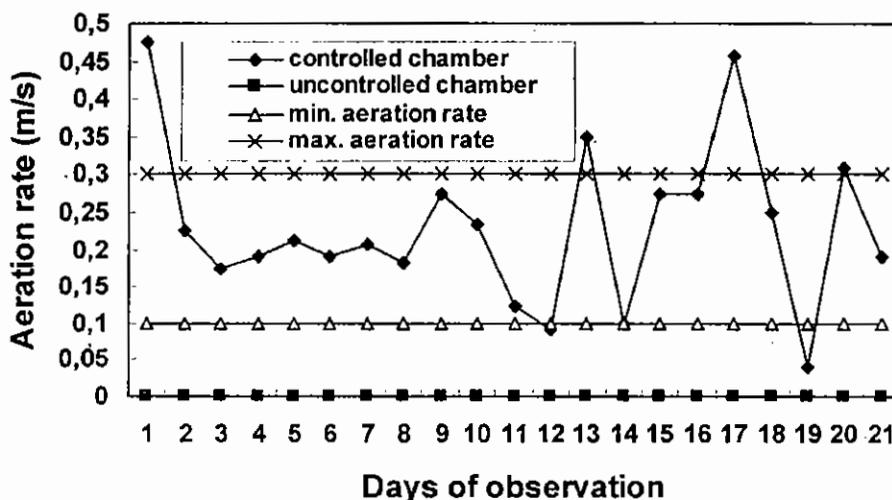


Fig. 11. Aeration condition in the uncontrolled and controlled chamber

Hal yang sama juga terjadi pada sistem pengendalian intensitas cahaya. Kondisi perubahan intensitas baik dalam dan luar ruang dapat dilihat pada Gambar 12.

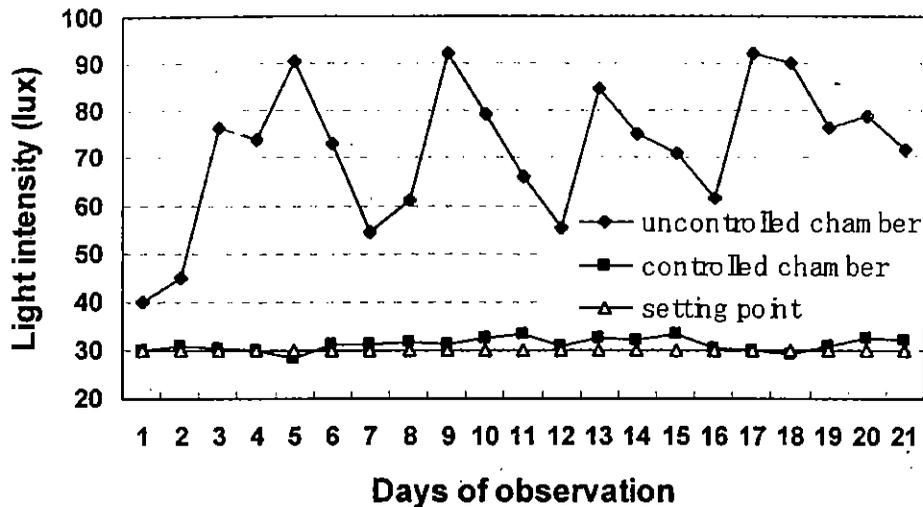


Fig. 12. Light intensity condition in the uncontrolled and controlled chamber

Beberapa gangguan yang menyebabkan kestabilan sistem terganggu berasal dari gangguan internal dan eksternal. Gangguan internal antara lain pengaruh fluktuasi tegangan listrik PLN yang menyebabkan lampu seperti berkedip-kedip, sehingga merubah intensitas cahaya aktual. Gangguan juga disebabkan oleh menurunnya kualitas komponen sistem kontrol akibat penggunaan yang terus menerus, sehingga berpengaruh pada tegangan referensi pada pengatur tegangan (PWM). Khusus untuk laju aerasi, gangguan internal yang sulit dihindari yaitu tambahan kecepatan aliran udara dari aliran udara AC dan humidifier yang cukup memberikan pengaruh signifikan. Selanjutnya dilakukan kajian sistem kontrol secara terintegrasi menyeluruh, dengan menggunakan empat parameter (stabilitas, akurasi, kecepatan respon dan sensitivitas).

d. Stabilitas

Berdasarkan data yang terekam menunjukkan bahwa temperatur cenderung stabil, tetapi pada parameter kelembaban, kondisinya cenderung tidak stabil (sering mengalami gangguan). Faktor penyebab gangguan tersebut antara lain; (i) kinerja sensor kelembaban yang kurang baik, dan (ii) kondisi kelembaban lingkungan yang selalu berubah-ubah. Karena jenis pengontrolan dalam sistem ini adalah sistem kontrol "on-off" yang paling sederhana, maka untuk menghitung tingkat kestabilan sistem tidak dapat secara langsung dihitung dengan menggunakan persamaan *transfer function*. Oleh karena itu, dengan berdasarkan pengamatan di lapangan, kinerja sistem masih perlu ditingkatkan untuk mendapatkan kestabilan sistem dengan meminimumkan gangguan dari lingkungan luar.

e. Akurasi

Secara umum keakuratan dari sistem ini sudah baik, hal ini didasarkan pada besarnya kesalahan (*error*) yang terjadi pada sistem, yaitu selisih antara hasil pengukuran sensor dengan *setting point* pada setiap parameter, baik untuk temperatur maupun kelembaban (lihat Gambar 7 dan 9). Hal yang perlu dipertimbangkan adalah daerah cakupan (interval dan toleransi $\pm 5\%$) keakuratannya.

f. Kecepatan respon

Berdasarkan simulasi dan pengamatan data yang tercatat menunjukkan bahwa waktu respon dari sistem kontrol ini terhadap pemenuhan nilai *setting point* cukup lama. Untuk mencapai kondisi yang diharapkan (temperatur 25 °C, kelembaban 80%) dari kondisi sebelumnya (temperatur 28 °C, kelembaban 65%) diperlukan waktu ± 30 menit. Waktu respon ini terhitung masih terlalu lama karena untuk sistem kontrol yang bagus kondisi *steady state* harus dapat dicapai secepat mungkin. Kecepatan respon sistem ini sangat tergantung dari peripheral (motor) yang digunakan oleh sistem. Akan tetapi dalam pengontrolan "on-off", kebutuhan akan kecepatan respon bukan hal yang mendesak.

g. Sensitivitas

Dari rangkaian box sensor yang telah dibuat, dengan menggunakan mikrokontroler AT89CS51, format data untuk temperatur adalah 14 bit, sedangkan untuk kelembaban adalah 12 bit. Hal ini tentunya akan memberikan tingkat kepekaan yang tinggi pada waktu perekaman data. Berdasarkan dari data yang terekam dalam format 14 dan 12 bit tersebut, sensitivitas sistem kontrol bisa dikatakan cukup baik.

6. Analisis Kualitas Kokon

a. Banyaknya daun yang dikonsumsi oleh ulat

Banyaknya daun yang dikonsumsi pada instar III di dalam dan luar ruang terkontrol relatif sama, akan tetapi pada instar IV terlihat bahwa ulat yang berada di luar ruang terkontrol mengkonsumsi daun lebih banyak dari pada ulat yang berada di dalam ruang terkontrol. Hal ini terjadi karena pada masa tidur/puasa, ulat yang di luar lebih cepat *molting* satu hari dibandingkan ulat yang di dalam meski keduanya mulai *molting* pada waktu yang hampir bersamaan. Sedangkan pada instar V, ulat dalam ruang terkontrol mengkonsumsi daun yang lebih banyak karena fase instar V berlangsung lebih lama satu hari sebelum mengokan. Adapun data jumlah daun yang dikonsumsi ulat dapat dilihat pada Gambar 13.

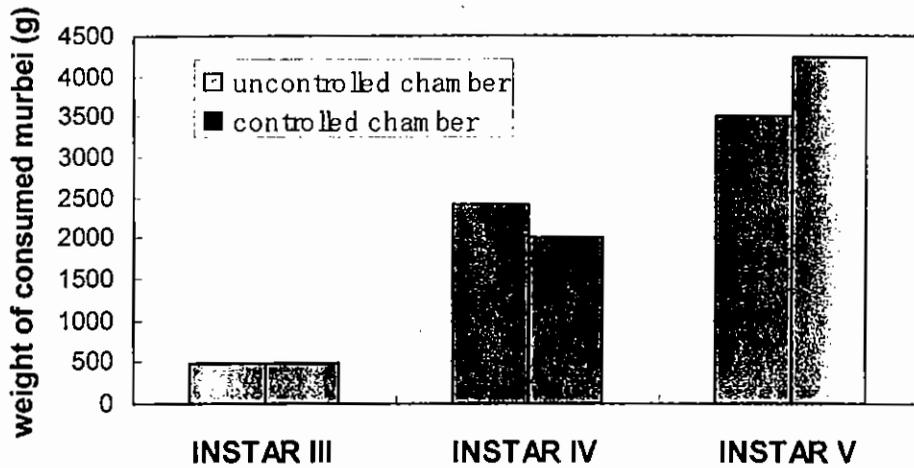


Fig. 13. Weight of consumed murbei leaf

b. Peningkatan berat badan ulat sutera

Berat badan ulat yang dipelihara di luar ruang lebih berat dibanding dengan yang di dalam ruang kontrol, walaupun tidak begitu signifikan. Perbedaan berat badan terkait dengan banyaknya / tingkat konsumsi daun yang dimakan ulat sutera selama masa pemeliharaan.

c. Karakteristik kualitas kokon

Kokon yang dipanen dihitung jumlahnya dan dari tiap kelompok pengamatan diambil sampel sebanyak 50 buah (20% dari total ulat yang berhasil mengkokon), diukur berat kokon total (kulit dan pupa), berat kulitnya saja, tebal, panjang dan diameter luarnya. Perbandingan antara berat kokon total dan berat kulitnya saja digunakan untuk mengetahui persentase kulit kokonnya. Hasil dari perhitungan dan pengukuran ukuran kokon dapat dilihat pada Tabel 1.

Table 1. Characteristics of cocoon quality produced

No	Parameter	Uncontrolled Chamber	Controlled Chamber
1	Length (cm)	2,747 ± 0,051	2,719 ± 0,096
2	Outer diameter (cm)	1,662 ± 0,034	1,688 ± 0,037
3	Thickness (cm)	0,029 ± 0,003	0,033 ± 0,008
4	Percentage of cocoon skin (%)	16,920 ± 1,527	17,750 ± 1,723
5	Total weight (g/50 pcs)	1279,7 ± 33,899	1352,16 ± 32,397

Pada Tabel 1. dapat dilihat bahwa ada hubungan antara berat badan ulat pada instar sebelumnya dengan panjang kokon, walaupun kurang begitu signifikan perbedaannya. Sedangkan untuk parameter lainnya, diameter luar, tebal, persentase kulit dan berat kokon, dapat diketahui bahwa ulat sutera yang dipelihara di dalam ruang terkontrol menghasilkan kualitas kokon lebih baik dibanding dengan di luar ruang terkontrol.

d. Persentase keberhasilan hidup ulat sutera menjadi kokon

Keberhasilan hidup ulat diketahui dari kemampuan tumbuhnya menjadi kokon yang normal, sedangkan ulat yang tidak menjadi kokon atau menjadi kokon tetapi cacat dianggap ulat yang tidak sehat. Rerata persentase keberhasilan hidup ulat di dalam ruang terkontrol adalah 89,51%, sedangkan ulat di luar ruang terkontrol adalah 90,15%. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan persentase keberhasilan hidupnya tidak signifikan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem kontrol ruang pemeliharaan ulat sutera yang dirancang untuk mengendalikan temperatur, kelembaban, aerasi udara dan intensitas cahaya dapat berfungsi baik sesuai dengan nilai yang ditentukan (*setting point*), dengan mendasarkan pada kinerja sistem kontrol, yaitu (i) kestabilan, (ii) akurasi, (iii) kecepatan respon, (iv) sensitivitas.

Pengendalian kelembaban dan temperatur dengan karakteristik "on-off" *closed loop control system* memiliki respon yang kurang cepat dikarenakan kinerja motor yang digunakan belum optimum (AC dan humidifier), sedangkan pengendalian aerasi udara dan intensitas cahaya yang didesain secara kontrol terbuka (*open loop control system*) relatif lebih stabil dengan sedikit gangguan dari luar sistem.

Kinerja sistem kontrol masih dapat lebih dioptimalkan dengan (i) pemasangan dan pemilihan sensor dan *peripheral* lainnya yang tepat untuk mendapatkan efek distribusi kondisi ruangan yang seragam, (ii) meminimumkan gangguan-gangguan baik yang bersifat dari internal dan eksternal. Kualitas kokon masih dapat ditingkatkan dengan memperhatikan kualitas pakan (daun murbei) yang diberikan dan pemilihan bibit ulat sutera yang baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat dilaksanakan dengan menggunakan dana penelitian Hibah Bersaing XII/1 Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Tahun Anggaran 2004. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Beny Setyawan, Hari Winanto, Tri Meiwanto, Yogi Sudraji, Auliana Idi Retnani atas kontribusinya selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2004, *Ronald Geroldus, Maju Bersama Sutra Sulawesi*, Harian Kompas 16 September 2004, Jakarta.
- Atmosoedarjo, S., Kartasubrata J., Kaomini, M., Saleh, W., Moerdoko, W., 2000. *Sutera Alam Indonesia*, Yayasan Sarana Wana Jaya. Jakarta.
- Gayakwad, R., dan Leonard Sokoloff. 1988. *Analog and Digital Control System*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- Krishnaswami, S. 1973. *Manual on Sericulture, Vol 2. Silkworm Rearing*. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome.
- Sunanto, H. Ir. 1997. *Budi Daya Murbei dan Usaha Persuteraan Alam*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Suyantohadi, A, 2002, *Optimasi Pertumbuhan Ulat Sutera Untuk Peningkatan Kualitas Kokon*, Laporan Penelitian DIKS Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Veda, K., I. Nagai, M. Horikumi. 1997. *Silkworm Rearing*. Science Publisher Inc. New Hampshire, USA

Appendix 1. Ideal condition for silk worm's growing

Instar	Temperature (°C) ¹⁾	Humidity (%) ²⁾	Aeration Rate (m/s)	Light Intensity (lux)
I	26-28	85	0,1 – 0,3	15 – 30
II	26-28	85		
III	24-26	80		
IV	24-25	75		
V	23-24	70		
Coccon	Max. 26	60-70		

Source : ¹⁾ Krishnaswami et al., 1973

²⁾ Veda et al., 1997