SIMULASI PENGENDALIAN SUHU DALAM RUMAH TANAMAN JAMUR TROPIKA

(Simulation of Temperature Control in Growth Room for Tropical Mushrooms)

Budi I. Setiawan[1], Diduk A. Wijaya dan Leopold O. Nelwan[2]

Abstract

Optimum growth of tropical mushrooms depend on the ambient environment. In general, mushrooms prefer low air temperature and high air humidity. The growers use closed rooms to maintain favorable conditions. Recently, use of refrigerator is of interest to maintain the favourable conditions under hot and humid climate conditions. This study is attempting to apply control mechanism in maintaining the ambient temperature favorable for mushroom growth. A simple heat transfer equation was used to describe changes of temperature inside the growth chamber. This equation was then coupled with a fuzzy logic control to actuate a refrigerator at a suitable length of time. Three temperature condition (16, 19 and 21 ^oC) were set as set points. The results show the developed technique was capable to maintain the temperature inside the growth room even though under the influence of a highly fluctuating ambient temperature. This technique was also responsive and reliable in facing immediate disturbances, and showed a realistic requirement of cooling energy.

Keywords: *tropical mushroom, ambient temperature, fuzzy logic control*

PENDAHULUAN

Sejak permintaan jamur meningkat baik domestik dan ekspor dalam beberapa tahun terakhir ini, banyak petani beralih ke budidaya jamur. Jamur banyak digemari karena disamping rasanya yang enak juga mengandung nilai protein dan karbohidrat lebih tinggi serta kalori lebih rendah dibanding buah-buahan dan sayuran. Jamur Tiram (*Pleurotus ostreatus*) mengandung karbohidrat 57,6%, protein 30,4%, lemak 2,2% serta sisanya berupa serat dan abu, juga selain itu Jamur Tiram mengandung vitamin-vitamin meliputi Thiamin, Riboflavin dan Niasin serta mineral Kalsium, Fosfor dan Kalium (Chang and Hayes, 1978).

Di negara beriklim tropis seperti Indonesia dengan tingkat kelembaban yang relatif tinggi jamur dapat tumbuh dengan mudah. Petani pada umumnya membudidayakan jamur dalam rumah tanaman dengan tujuan untuk memperoleh kondisi lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan. Walaupun kebanyakan jamur Kuping dan Tiram dapat tumbuh baik pada kisaran suhu 25~30 ^oC dengan kelembaban udara di atas 80%, kondisi pertumbuhan optimum dicapai pada kisaran suhu 16~22^oC (Daryani, 1999). Bagi petani jamur, faktor cuaca selalu menjadi pertimbangan dalam menentukan awal tanam. Biasanya, awal musim hujan atau menjelang akhir musim kemarau menjadi patokan untuk memulai budidaya jamur. Suhu rendah biasanya tidak menjadi soal bila budidaya

[1] CREATA, LP-IPB, PO. BOX 220, Bogor 16002, E-mail: budinda@telkom.net
[2] Jurusan Teknik Pertanian, Fateta-IPB, PO. BOX 220, Bogor 16002.

dilakukan di dataran tinggi mengingat fluktuasi suhunya berada dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan jamur.

Upaya untuk mempertahankan suhu konstan selama pertumbuhan jamur telah dilakukan, misalnya oleh Wijaya (1999), pada 3 (tiga) kondisi suhu, yaitu 16, 19 dan 21 °C menggunakan perangkat komputer dengan sistem kendali fuzzy. Pada kondisi suhu terkendali, rata-rata diameter tudung dan tangkai masing-masing mencapai 8.9 cm sedangkan dalam kondisi tak terkendali masing-masing hanya mencapai 5.8 cm dan 6.2 cm (Paramita, 1999). Awal pertumbuhan jamur lebih pesat pada kondisi suhu terkendali 21 °C tetapi hasil tertinggi diperoleh pada kondisi suhu terkendali 17 °C. Dimana untuk jamur Kuping dan Tiram diperoleh hasil rata-rata 424 gram dan 391 gram per log bag.

Penelitian ini bertujuan 1) merancang sistem kendali suhu melalui pendekatan teoritis, dan 2) mengetahui peluang penerapannya untuk budidaya jamur. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung peningkatan usaha budidaya jamur sehingga tidak tergantung pada kondisi iklim dan cuaca.

PENDEKATAN TEORITIS

Pindah Panas

Model rumah tanaman (Paramita, 1999) yang dipelajari di sini merupakan suatu ruangan berbentuk kubus dengan dindingnya terbuat dari bahan transparans, mempunyai ventilasi untuk pertukaran udara dan lantainya terbuat dari bahan kedap panas. Rumah tanaman ini diberi penerangan dari lampu listrik 5 watt. Udara dingin diperoleh dari mesin refregerasi yang besaran dayanya tergantung pada referensi suhu ruangan yang akan dikendalikan. Dengan mempertimbang-kan bahwa suhu ruang menyebar merata (Paramita, 1999) dan suhu tanaman dan media tumbuhnya sama dengan suhu ruangan maka proses pindah panas dalam rumah tanaman tersebut didekati dengan persamaan sederhana sebagai berikut (Nelwan et. Al., 1999; Wijaya, 2000):

$$m_s C_{p,s} \frac{dT_r}{dt} = m C_{p,a}(T_o - T_r) - \sum U_i A_i (T_r - T_o) + Q_{rad} + Q_{ref} \quad \text{............(1)}$$

dimana, m_s adalah massa sistem yang merupakan perjumlahan dari massa udara dalam ruangan, massa media tumbuh jamur dan massa jamur (kg), $C_{p.s}$ dan $C_{p,a}$ adalah panas jenis sistem dan panas jenis udara (J/kg °C), m adalah laju aliran massa udara (kg/det), U_i dan A_i adalah koefisien pindah panas keseluruhan (Watt/m^2 °C) dan luas permukaan (m^2)masing-masing untuk dinding (i=1) dan lantai (i=2) ruangan, T_r adalah suhu di dalam dan T_o adalah suhu di luar rumah tanaman (°C), Q_{rad} dan Q_{ref} masing-masing adalah daya penyinaran dan pendinginan di dalam ruangan (Watt), dan *t* adalah waktu (jam). Suhu udara di luar rumah tanaman (T_o) berfluktuasi tergantung pada waktu, dimana polanya dapat didekati dengan fungsi sinus atau diperoleh dari hasil pengukuran langsung yang kemudian direpresentasikan dalam bentuk fungsi interpolasi yang kontinyu.

Solusi Numerik

Proses integrasi untuk Persamaan 1 dilakukan secara numerik dengan metode Runge-Kutta (Jeffrey, 1990) yang dapat diekpresikan dalam bentuk sebagai berikut:

$$T_{r,t+\Delta t} = T_{r,t} + k_t \quad \text{............(2)}$$

$$k_t = \frac{1}{6}(k_1 + k_2 + k_3 + k_4) \qquad (3)$$

$$k_1 = f(t, T_{r,t})\Delta t \qquad (3a)$$

$$k_2 = f(t + 0.5\Delta t, T_{r,t} + 0.5k_1)\Delta t \qquad (3b)$$

$$k_3 = f(t + 0.5\Delta t, T_{r,t} + 0.5k_2)\Delta t \qquad (3c)$$

$$k_4 = f(t + \Delta t, T_{r,t} + k_3)\Delta t \qquad (3d)$$

$$f(t, T_r) = \frac{1}{m_s C_{p,s}}\left[mC_{p,a}(T_o - T_r) - \sum U_i A_i (T_r - T_o) + Q_{rad} + Q_{ref}\right] \qquad (4)$$

Sistem Kendali

Pengendalian dilakukan untuk beberapa tingkat suhu optimum bagi pertumbuhan tanaman Jamur (T_{sp}). Sistem kendali bekerja berdasarkan pada perbedaan antara suhu aktual dan suhu optimum (E_T), dan perubahan suhu aktual terhadap waktu (ΔE_T), dengan asumsi Δt adalah konstan, masing-masing didefinisikan sebagai berikut:

$$E_{T,t} = T_{r,t} - T_{sp,t} \qquad (5)$$

$$\Delta E_{T,t} = E_{T,t} - E_{T,t-\Delta t} \qquad (6)$$

Selanjutnya, proses fuzzifikasi untuk E_T dan ΔE_T , bentuk matriks keputusan dan defuzzifikasi mengikuti Satyanto (1995), dimana luarannya berupa durasi pengoperasian mesin pendingin. Mesin pendingin akan beroperasi hanya bila luaran ini bernilai positif atau lebih besar dari nol.

BAHAN DAN METODE

Dimensi model ruang tanaman (Paramita, 1999) adalah sebagai berikut: panjang 65 cm, lebar 55 cm dan tinggi 75 cm. Dinding ruang tanaman terbuat dari bahan fiber dengan tebal 1 mm dan dibingkai dengan multifleks dengan tebal 9 mm, masing-masing mempunyai luas permukaan 1.67 m^2 dan 0.49 m^2, dan nilai koefisien pindah panas keseluruhan 3.72 Watt/m^2 °C dan 3.13 Watt/m^2 °C.

Di dalam rumah tanaman dibudidayakan jamur yang mempunyai panas jenis sebesar 3.89 kJ/kg °C. Parameter lainnya adalah aliran massa udara pendingin asumsikan tetap sebesar 10.8 kg/jam yang dihembuskan oleh mesin refrigerasi dengan daya sebesar 300 Watt. Massa sistem sebesar 10.323 kg dengan panas jenisnya sebesar 1.08 kJ/kg °C dan penyinaran rumah tanaman menggunakan lampu listrik 5 Watt.

Suhu di luar ruang tanaman (T_o) diperoleh dengan melakukan pengukuran suhu selama 24 jam dengan interval selama 1 jam, menggunakan termometer air raksa. Hubungan T_o dan t ini selanjutnya diinterpolasikan menggunakan fungsi *Cubic Spline* (Setiawan, 1997).

Dalam pemecahan Persamaan 1 dilakukan terlebih dahulu proses iterasi untuk mendapatkan interval waktu (Δt) yang menjamin tercapainya kestabilan dan akurasi tinggi, dimana di sini diperoleh nilai sebesar 1 detik. Untuk memulai perhitungan, nilai T_r ditetapkan sama dengan nilai T_o awal.

Proses pengendalian suhu dilakukan dengan menetapkan 3 (tiga) pengkondisian suhu (T_{sp}), yaitu 22, 19 dan 16 °C. Ketiga suhu ini merupakan suhu optimum untuk pertumbuhan jamur, khususnya di daerah tropis. Pemantauan suhu aktual (T_r) dilakukan setiap selang 1 detik. Durasi maksimal pengoperasian mesin pendingin adalah sebesar 20 menit dan minimalnya adalah 0 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 memperlihatkan kondisi suhu dalam rumah tanaman. Suhu di luar (T_o) diperoleh dari hasil pengukuran dan suhu di dalam (T_r) diperoleh berdasarkan pada Persamaan 1. Pada waktu pagi dan malam hari terlihat bahwa suhu di dalam ruangan selalu lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di luar. Hal ini menunjukkan adanya kemampuan rumah tanaman dalam menyimpan panas.

Hasil pengendalian suhu untuk ketiga *set point* (T_{sp}), terlihat masing-masing mendekati T_{sp} walaupun dalam waktu yang berlainan. Semakin rendah T_{sp} semakin lama pencapaiannya. Penurunan suhu dari awal pengendalian menuju T_{sp} mendekati garis lurus. Dimana, untuk mencapai T_{sp} 22, 19 dan 16 °C masing-masing diperlukan waktu sekitar 16.8, 26.4 dan 30 menit. Setelah tercapai T_{sp}, suhu ruangan cukup stabil dengan sedikit osilasi teratur dengan deviasi sebesar -0.01 °C untuk ketiga T_{sp} tersebut. Akumulasi kebutuhan energi pendinginan untuk setiap T_{sp} berbeda-beda tetapi semuanya mengikuti pola garis lurus. Tabel 1 memperlihatkan fungsi regresi linier yang menyatakan hubungan antara kebutuhan energi dengan waktu untuk setiap T_{sp} pada kondisi transien dan mantap. Koefisien regresi untuk semua fungsi tersebut mendekati nilai 1.

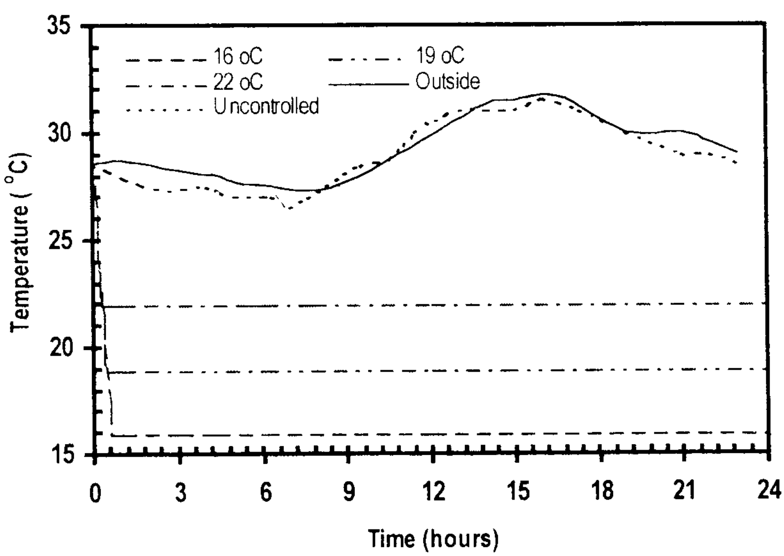

Figure 1. Suhu di luar dan di dalam rumah tanaman dalam kondisi terkendali dan terkendali pada suhu 16, 19 dan 22 °C.

Tabel 1. Kebutuhan energi untuk pendinginan rumah tanaman

Suhu *set point* (°C)	Energi Refrigerasi (Watt jam)	
	Kondisi Transien	Kondisi Mantap
22	0.08 t – 0.08	0.02 t – 3.72
19	0.08 t	0.03 t – 34.6
16	0.08 t – 0.08	0.04 t – 23.7

Tabel 2 memperlihatkan kinerja dari sistem kendali ini berdasarkan berbagai variasi daya mesin refrigerasi yang digunakan, yaitu 100, 200, 300, 400 dan 500 Watt. Dengan semakin tinggi daya mesin refrigerasi diharapkan pencapaian kondisi mantap akan lebih cepat tetapi bila terlalu besar dapat mengakibatkan T_r melaju cepat hingga melampaui T_{sp} (terjadi lewatan atau *overshoot*). Demikian pula, kalau daya mesin refrigerasi terlalu kecil mungkin T_r tidak akan pernah mencapai T_{sp}. Sebagaimana terlihat pada Tabel 2, dari variasi daya tersebut, mesin refrigerasi dengan daya 300 Watt menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan yang lainnya. Dimana, nilai standar deviasinya adalah yang terendah untuk ketiga T_{sp}. Sementara, daya mesin refrigerasi sebesar 100 Watt tidak pernah berhasil menuju ketiga T_{sp}, dan daya mesin refrigerasi 400 Watt dan 500 Watt kelihatannya menyebabkan lewatan yang semakin besar. Hasil pengujian terhadap kemungkinan adanya gangguan (*noise*), umpamanya yang biasa terjadi ketika pintu rumah tanaman ini dibuka untuk keperluan pemeliharaan tanaman, memperihatkan sistem kendali ini mampu mengembalikan T_r menuju T_{sp} dalam tempo yang sangat cepat.

Tabel 2 Kinerja sistem kendali terhadap beberapa variasi daya mesin refrigerasi

Daya refrigerasi (Watt)	T_{sp} 16 °C		T_{sp} 19 °C		T_{sp} 22 °C	
	SD	T_r rataan	SD	T_r rataan	SD	T_r rataan
100	1161.31	19.95	373.95	20.27	14.92	22.05
200	0.72	16.00	0.27	19.00	0.43	21.99
300*)	0.29	15.99	1.09	18.99	1.09	21.99
400	1.46	15.99	1.45	18.99	1.45	21.99
500	1.81	19.99	1.82	18.99	1.82	21.99

*) Menunjukkan kinerja terbaik dengan SD terendah berlaku untuk semua T_{sp}

KESIMPULAN

Sistem kendali yang dirancang berhasil mengendalikan suhu dalam ruang tumbuh jamur, yaitu dengan cara pengatuan waktu penyalaan mesin refrigerasi.

Dalam penelitian ini, mesin refrigerasi dengan daya 300 Watt menunjukkan kinerja terbaik dalam pengendalian suhu, khususnya untuk *set point* 16, 19 dan 22 ^{o}C.

Sistem kendali ini sangat handal dan responsif dalam menghadapi gangguan seperti adanya perubahan suhu secara mendadak.

DAFTAR PUSTAKA

Chang, S.T. and W.A. Hayes. 1978. The Biological and Cultivation of Edible Mushrooms. Mc Graw Hill., New York.

Daryani, S. 1999. Pertumbuhan Jamur Kuping (Auricularia auriculae) dan Jamur Tiram (Pleurotus ostreatus) dalam rumah tanaman dengan suhu terkendali. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian. Fateta-IPB.

Jeffrey, A. 1990. Linear Algebra and Ordinary Differential Equation. Blackwell Scientific Publications. Boston. Pages 378~380.

Nelwan, L.O., K. Abdullah and B.I. Setiawan. 1999. Temperature Control of A GHE Solar Dryer using Fuzzy Logics. Proceedings of the First Asian-Australian Drying Conference. Bali, October 24th--27th, 1999.

Paramita, F.P. 1999. Distribusi suhu dan kelembaban udara dalam ruang tumbuh jamur terkendali. Skripsi-Jurusan Teknik Pertanian. Fateta-IPB.

Satyanto K. Saptomo, B.I. Setiawan, M.A. Iskandar dan S. Sarwono. 1996. Pengatur Suhu dengan Pengontrol Fuzzy. J. Teknol. Ind. Pert. Vol 6(2) 110~117.

Setiawan, B.I. 1997. Penerapan Cubic Spline Interpolation dalam penentuan debit sungai. Jurnal Jeknik Pertanian. ISSN 0853-3695. Vol. 5(1).

Wijaya, D.A. 2000. Simulasi sistem pengendalian suhu dengan logika Fuzzy pada rumah tanaman menggunakan program komputer. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian. Fateta-IPB.

Wijaya, K. 1999. Pengendalian suhu pada rumah tanaman jamur dengan sistem kendali fuzzy. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian. Fateta-IPB.