



**APLIKASI SISTEM KENDALI ON-OFF PADA IN STORE DRYER (ISD)
UNTUK PENGERINGAN JAGUNG¹⁾**
(Application of On-Off Control System on In-Store Dryer (ISD) for Corn Drying)

Deni Hendarto¹⁾, Leopold Oscar Nelwan²⁾, I Dewa Made Subrata²⁾, dan Raffi Paramawati³⁾

¹⁾ Staf Pengajar pada Fakultas Teknik UIKA, Bogor.

Jl. K.H. Soleh Iskandar Raya KM. 4, Kedung Badak, Bogor 16161

Telp./Fax : (0251) 356884; (0251) 356884

²⁾ Staf Pengajar pada Departemen Teknik Pertanian, FATETA IPB

Kampus IPB Darmaga

Jl. Raya Darmaga, Bogor 16680

Telp. (0251) 8622642

³⁾ Perekrayasa pada Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian

Situgadung, P.O. Box 2, Serpong 15310, Tangerang, Banten

Telp./Fax : (021) 5376580, 70936787; (021) 7093684

ABSTRAK

Sistem pengeringan dalam penyimpanan *In Store Dryer (ISD)* adalah metode pengeringan dalam menyimpan menggunakan udara lingkungan yang dihembuskan melalui tumpukan biji-bijian yang akan dikeringkan. Sebagai negara tropis, kondisi udara lingkungan di Indonesia pada umumnya memiliki RH yang tinggi, akan tetapi pada siang hari suhu rata-rata dapat lebih tinggi dari 30°C dengan kelembaban lebih rendah dari 70 %. Udara dengan kondisi demikian cukup potensial untuk digunakan sebagai media pengeringan jagung, mengingat kadar air keseimbangan jagung pada kondisi tersebut dapat mencapai kurang dari 14 %. Untuk itu dibutuhkan sistem kendali yang dapat mengendalikan pengaliran udara pada saat yang tepat. Diharapkan dengan sistem kendali pada ISD ini, maka konsumsi energi dapat dihemat dan kualitas dapat dipertahankan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini mencakup rancang bangun sistem kendali *on-off* berdasarkan algoritma sistem kendali yang membandingkan kondisi udara lingkungan dan di dalam ISD, rancang bangun *hardware* sistem kendali *on-off* pada ISD, mengkalibrasi sensor suhu dan kelembaban, validasi metode perhitungan kadar air, serta menguji performansi sistem kendali *on-off* pada ISD. Dengan suhu lingkungan rata-rata 32,8 °C dan RH rata-rata 51,93 %, pengeringan pada ISD dengan beban 1201,2 kg mampu menurunkan kadar air dari sekitar 17,61 % hingga 12,37 % b.k. selama pengeringan 50 jam. Sedangkan pengeringan dengan beban 915 kg mampu menurunkan kadar air dari sekitar 18,02 % menjadi 12,25 % b.k. dengan suhu lingkungan rata-rata 31,14 °C dan RH lingkungan rata-rata 54,16 % selama 40 jam.

Kata kunci: Sistem kendali, pengeringan dalam penyimpanan, simulasi, kualitas jagung.

ABSTRACT

In Store Drying is a drying method that uses ambient air as the drying medium and usually applied for grain. In Indonesia, although the humidity is relatively high, this drying method can still be applied by using an appropriate control system. In this research, a control system algorithm had been developed based on comparing the potential of ambient air with the air condition inside the ISD. The control system hardware was constructed based on the algorithm and then was tested for two different ambient air conditions. Corn was used as the material being dried. The control system constructed in this research included a power supply, a control circuit, a parallel port circuit with IC74244, and circuit for sensor SHT75. The control system selected the ambient air used for drying of grain in store dryer. The performance test showed that with the average ambient air temperature of 32.8 °C and relative humidity of 51.93 %, the system could dry 1201.2 kg of shelled corn from the initial moisture content of 17.61 % to 12.37 % d.b. within 50 hours while the system could dry 915.0 kg from the initial moisture content of 18.02 % to 12.25 % d.b. within 40 hours when the average temperature was 31.14 °C and relative humidity was 54.16 %.

Key word : Control system, in store drying (ISD), simulation, corn quality.

PENDAHULUAN

Pengeringan merupakan salah satu proses pascapanen yang umum dilakukan pada biji-bijian termasuk jagung yang bertujuan untuk menurunkan kadar air pada tingkat yang aman untuk penyimpanan atau proses lanjutan. Kadar air pada tingkat yang aman diartikan sebagai aman terhadap serangan mikro organisme maupun aman terhadap terjadinya kerusakan akibat reaksi kimia. Pada pengeringan *artificial* kebutuhan energi termal untuk pengeringan sangat tinggi, kira-kira 90%–95% dari total kebutuhan energi (Manalu, 1999; Nelwan, 1997). Untuk mengatasi hal tersebut salah satu usaha penghematan konsumsi energi adalah dengan menggunakan pengering yang memanfaatkan udara lingkungan sebagai media pengeringan. Sistem pengeringan dengan memanfaatkan udara lingkungan ini sering disebut sebagai pengeringan dalam penyimpanan atau *In-Store Dryer (ISD)*. Namun sistem pengering seperti ini memiliki resiko tinggi jika diaplikasikan pada biji-bijian dengan kadar air awal tinggi. Oleh karena itu, Nelwan *et.al.*, (2007), menggabungkan sistem pengering efek rumah kaca (ERK) hybrid dengan ISD, yaitu dengan melakukan pengeringan dengan udara panas sampai kadar air tertentu kemudian dilanjutkan dengan pengeringan ISD. Pada sistem ini, pengeringan dilakukan segera setelah panen atau pada kadar air jagung sekitar 23% hingga mencapai kadar air 16%-20% dengan menggunakan pengering ERK. Setelah mencapai kadar air 16%-20%, jagung dipindahkan ke pengeringan dengan udara alami atau ISD.

Pada sistem ISD, pengeringan dilakukan menggunakan udara lingkungan yang dihembuskan melalui tumpukan biji-bijian yang akan dikeringkan. Udara lingkungan harus lebih kering daripada udara dalam ISD, sehingga kandungan air dalam biji akan bergerak ke luar. Apabila kondisi udara lingkungan sebaliknya, maka kadar air biji justru akan semakin meningkat.

Sebagai negara tropis, kondisi udara lingkungan di Indonesia pada umumnya memiliki RH yang tinggi, akan tetapi pada siang hari suhu rata-rata dapat lebih tinggi dari 30°C dengan kelembaban lebih rendah dari 70%. Udara dengan kondisi demikian cukup potensial untuk digunakan sebagai media pengeringan biji-bijian, mengingat kadar air keseimbangan jagung pada kondisi tersebut dapat mencapai kurang dari 14%. Karena kondisinya berfluktuasi, tidak semua udara berpotensi untuk digunakan sebagai media pengeringan.

Untuk itu dibutuhkan sistem kendali yang dapat mengendalikan pengaliran udara pada

saat yang tepat. Pada penelitian ini, sistem kendali diterapkan dengan cara mengalirkan udara ketika suhu udara lingkungan relatif tinggi dan kelembaban rendah. Pengaliran udara dengan kelembaban tinggi dapat menyebabkan berlangsungnya *desorpsi* (peningkatan kadar air akibat masuknya kembali molekul-molekul air ke dalam biji). Sistem pengendalian ini juga mempunyai keuntungan lain, yaitu berlangsungnya proses *tempering* pada saat udara tidak dialirkan. *Tempering* adalah proses homogenisasi kadar air di dalam biji. Jika perbedaan kadar air bagian tengah dan pinggir biji dapat dipertahankan tetap rendah terutama ketika biji telah berada di bawah kadar air 18%, maka biji akan lebih tahan terhadap kerusakan mekanik pada penanganan selanjutnya.

Studi sistem kendali pada pengeringan juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Sistem kendali pada pengeringan *static deep beds* telah dikembangkan oleh Ryniecki *et.al.*, (2007). Pada penelitian tersebut, kelembaban relatif dan suhu pada *outlet* udara diukur secara langsung dan terus menerus menggunakan sistem otomatis. Teknik pengeringan dalam penyimpan juga telah dilakukan melalui percobaan pada skala laboratorium untuk pengeringan padi di China, di mana dengan udara lingkungan rata-rata 5°C dan RH 70% dapat mengeringkan padi dari kadar air 18,3% menjadi 13,7% selama 24 jam (Srzednicki *et.al.*, 2005).

Sistem pengeringan *Drying Storage System (DS System)* untuk pengeringan padi dengan menggunakan tungku pemanas mencatat diperoleh laju pengeringan 0,8% - 1,2% per jam dan laju aliran udara minimum yang sesuai untuk penyimpanan gabah sementara adalah 0,001m³/detik/100kg (Widodo *et.al.*, 1994). Menurut Prastowo (1998), pengeringan secara mekanis menggunakan *flat bed dryer* untuk jagung dapat dilakukan selama tiga hari dari kadar air 27,5% menjadi kadar air kisaran 13,9%-14,5%. Penelitian tersebut juga menyimpulkan bahwa jagung dengan kadar air 12,5%-13% dapat disimpan selama 4 sampai 8 bulan.

Untuk keperluan pengembangan sistem, simulasi yang didasarkan pada keseimbangan termal penting dilakukan. Dengan melakukan simulasi, dapat diketahui pengaruh parameter desain dan pengoperasian terhadap penurunan kadar air jagung yang dikeringkan. Adapun penelitian ini bertujuan:

- 1) Merancang bangun, mengkalibrasi, dan menguji performansi sistem kendali pada *in store dryer (ISD)*,
- 2) Mengetahui kualitas jagung sebelum dan setelah pengeringan pada ISD.



BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Energi dan Elektrifikasi Pertanian Leuwikopo, Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB, Bogor. Waktu penelitian dimulai pada bulan September 2007 sampai dengan Mei 2008.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian mencakup bangunan ISD dan peralatan untuk aplikasi sistem kendali pada ISD meliputi: *Personal Computer*, perangkat/unit kendali, 2 (dua) unit sensor SHT75, kipas aksial dengan penggerak motor listrik asinkron satu fase 2 hp, AVometer, *Software Visual Basic 6.0*, dan *Turbo C++*. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah jagung pipilan dengan kadar air sekitar 18 % dan berat 1201,2 kg untuk pengujian 1 serta 915 kg untuk pengujian 2.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian diuraikan melalui tahapan seperti berikut:

1. Membuat modul (subprogram) sistem kendali, meliputi: penyusunan diagram alir pemrograman dan pembuatan modul;
2. Merancang bangun *hardware* sistem kendali meliputi: membuat skema sistem kendali dan perangkat/unit kendali pada ISD;
3. Mengkalibrasi dan menguji performansi sistem kendali pada ISD;
4. Menguji kualitas jagung sebelum dan setelah pengeringan pada ISD.

Sistem Kendali pada ISD Menggunakan Personal Computer (PC)

Skema ISD

Pada penelitian ini ISD merupakan bangunan silo yang berbentuk silinder dengan kapasitas penyimpanan 7500 kg jagung curah, dengan ukuran tinggi 3,5 m dan diameter 2,5 m.

Seluruh dinding terbuat dari plat esser yang dilapisi galvanis dengan ketebalan 0,002 m, yang diperkuat oleh rangka yang terbuat dari pipa-pipa besi. Dinding terdiri dari dua lapisan, yaitu bagian luar dan dalam. Di antara kedua lapisan dinding tersebut diisi dengan busa *glasswool* sebagai isolator agar pemanasan oleh radiasi matahari tidak mempengaruhi kondisi dalam bangunan ISD, sehingga dinding dalam kondisi adiabatik. Pada bagian atas bangunan ini terdapat lubang sebagai *output* udara dan juga untuk lubang *loading* bahan dengan diameter 0,6 m. Bagian dalam ISD dilengkapi 13 batang pipa penyalur udara yang berfungsi untuk meratakan distribusi aliran udara di dalam ISD. Pipa-pipa tersebut terbuat dari plat esser berpori yang digalvanis dengan ketebalan 0,002 m. Pipa-pipa tersebut terdiri atas pipa *input* dan pipa *output*. Pipa *input* berjumlah 9 batang berdiameter 0,15 m dan pipa *output* berjumlah 4 batang berdiameter 0,2 m dengan tinggi setiap pipa 2 m.

Pada ISD terdapat kipas aksial yang digerakkan oleh motor listrik asinkron satu fase 2 hp, melalui pengukuran menggunakan anemometer diperoleh laju aliran udara sebesar 8,289 m/s. Berdasarkan perhitungan didapat besar debit udara adalah 56,06 m³/menit, jika dengan massa jenis udara adalah 1,11 kg/m³, maka laju massa udara yang masuk ke dalam ISD adalah sebesar 12,7 kg/menit m² (0,211 kg/detik m²).

Skema Sistem Kendali dan Pembuatan Modul (Subprogram)

Gambar 1 memperlihatkan skema sistem kendali pada ISD. Pada penelitian ini diaplikasikan sistem kendali *on-off* pada ISD dengan bahasa program Turbo C++. Sistem kendali *on-off* merupakan sistem yang sederhana dan dalam merancang bangun tidak membutuhkan biaya yang besar dibandingkan dengan sistem kendali dengan logika *fuzzy* atau sistem kendali yang lainnya. Pengendalian dengan sistem kendali *on-off* dilakukan dengan cara menyalakan dan mematikan kipas yang ada pada ISD berdasarkan nilai suhu dan RH lingkungan, nilai suhu dan RH pada ISD yang dibaca oleh 2 (dua) sensor SHT75 yang diletakkan di sekitar ISD dan di atas permukaan

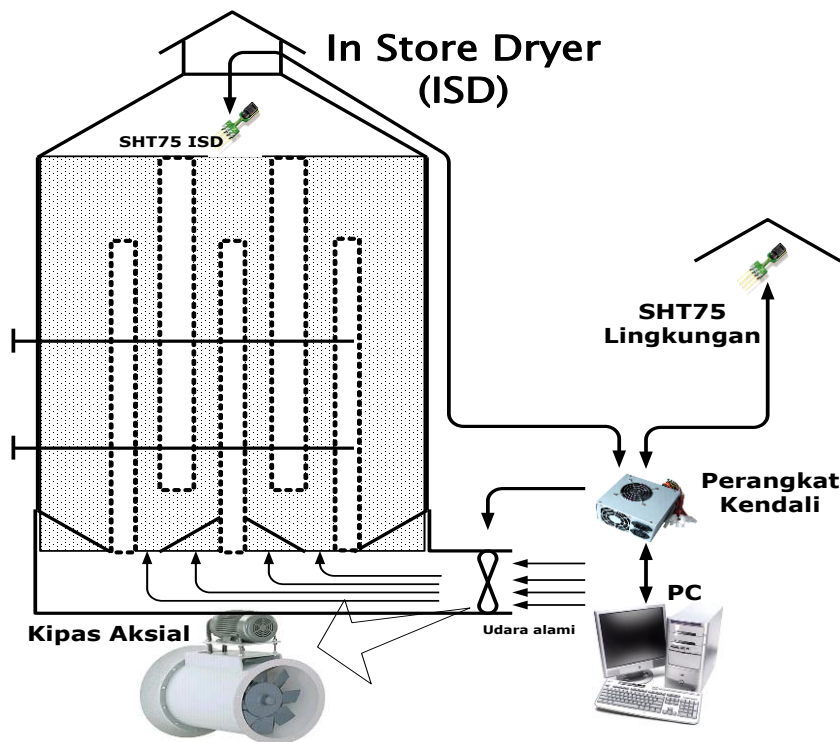
jagung. Untuk pembacaan data digunakan port paralel sebagai alat komunikasi antara sensor dan komputer.

Pada penelitian ini, kadar air diasumsikan berada dalam kondisi keseimbangan dengan suhu dan RH sehingga nilainya sama dengan kadar air keseimbangan. Kemudian nilai hasil pendugaan kadar air keseimbangan dibandingkan antara pembacaan sensor yang diletakkan di lingkungan dan sensor yang diletakkan di atas jagung dalam ISD untuk menyalakan dan mematikan kipas. Jika kadar air keseimbangan dalam ISD lebih rendah daripada lingkungan maka kipas mati. Sebaliknya, jika kadar air keseimbangan pada ISD lebih tinggi maka kipas menyala. Selain itu, ketika kadar air dalam ISD telah berada di bawah 13% b.k. kondisi kipas mati. Sistem pengendalian dapat terus bekerja selama dibutuhkan pada proses penyimpanan untuk menjaga supaya kadar air keseimbangan tetap kurang dari 13 % b.k.

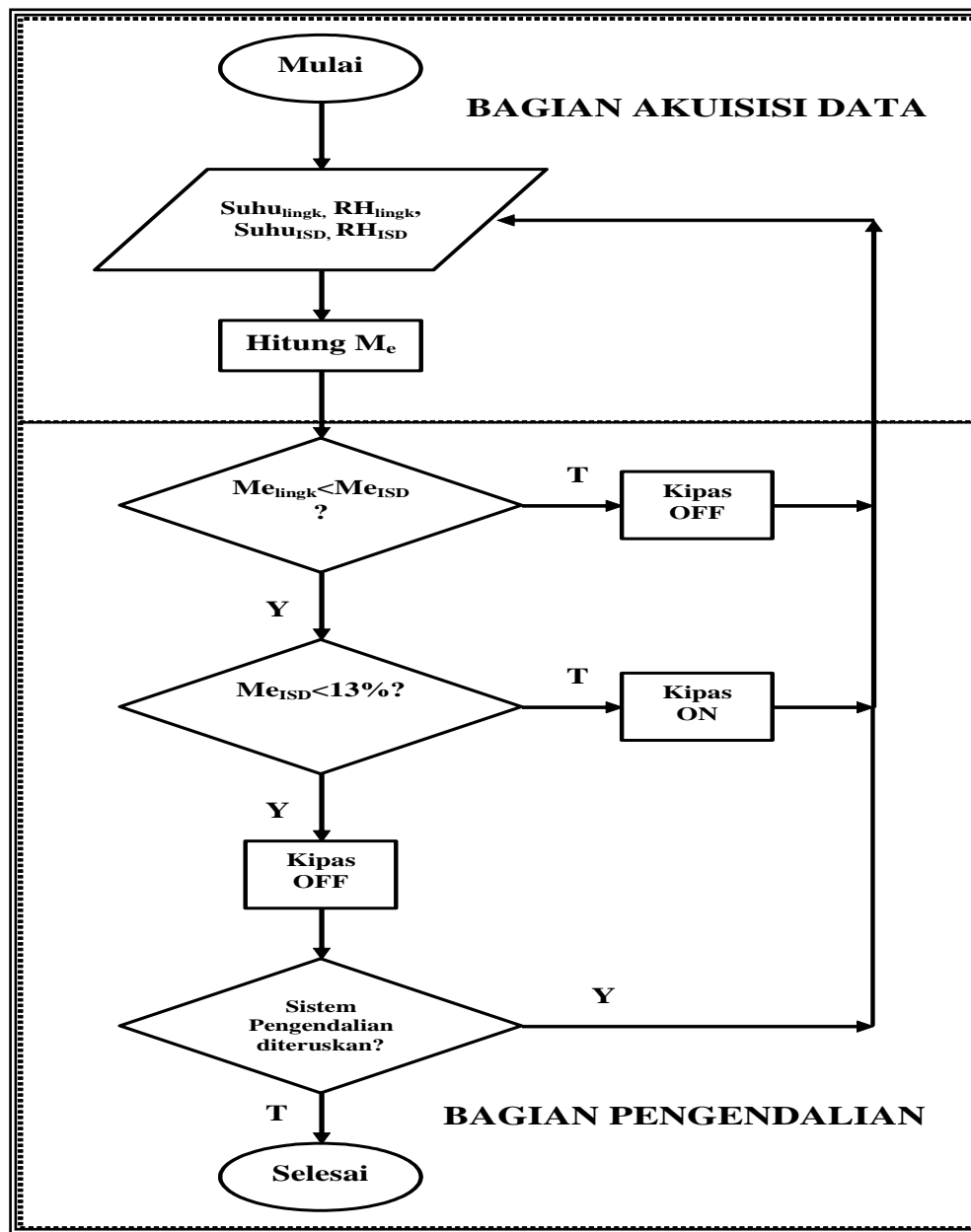
Modul (subprogram) yang digunakan pada sistem kendali pada ISD ini adalah pemrograman dengan bahasa C++ dan modul

pada penelitian ini terdiri atas 3 (tiga) subprogram. Pertama adalah subprogram akuisisi data yaitu program yang digunakan untuk penulisan dan pembacaan sensor SHT75, subprogram kedua adalah subprogram untuk menghitung kadar air keseimbangan berdasarkan keluaran hasil pembacaan nilai suhu dan RH, dan subprogram ketiga adalah subprogram untuk pengendalian kipas ISD. Secara umum Subprogram pertama dan kedua disebut bagian akuisisi data sedangkan subprogram ketiga disebut bagian pengendalian. Keluaran dari ketiga subprogram tersebut di atas berupa data hasil pembacaan suhu dan RH lingkungan, suhu dan RH pada ISD, nilai hasil pendugaan kadar air, dan kondisi kipas.

Sistem kendali pada ISD ini dilakukan pengujian langsung pada *In-Store Dryer (ISD)* yang merupakan bagian dari alat pengering Efek Rumah Kaca (ERK)-*Hybrid* dan *In-Store Dryer (ISD)* terintegrasi. Pemrograman disusun menggunakan bahasa Turbo C++. Diagram alir pemrograman untuk pengendalian seperti diperlihatkan Gambar 2.



Gambar 1. Skema sistem kendali pada ISD



Gambar 2. Diagram alir pengendalian

Perancangan Hardware

Sistem kendali yang dipergunakan pada ISD adalah sistem pengendalian dengan menggunakan komputer dapat melalui port paralel atau LPT1 (Budiharto, 2004). Dalam sistem ini yang dikendalikan adalah kipas aksial yang terdapat pada ISD. Skema diagram sistem pengendalian dengan menggunakan PC (komputer) melalui port paralel.

Rangkaian catu daya untuk sistem kendali menggunakan komputer (PC). Rangkaian ini

terdiri atas trafo 500 mA, dioda tipe IN4002, IC L7812, dan L7805 yang digunakan untuk menghasilkan tegangan searah 12 V dan 15 V. Sedangkan rangkaian relay digunakan untuk menyalakan dan mematikan kipas aksial pada ISD. Rangkaian ini terdiri atas relay 12 Vdc dan kontaktor tipe SK10. Rangkaian ini akan bekerja jika diberi tegangan oleh thyristor dan kemudian akan mengaktifkan kontaktor. Melalui kontaktor ini kipas aksial pada ISD akan dioperasikan. Pada sistem pengendalian menggunakan komputer digunakan port paralel sebagai antar

muka dengan sensor SHT75. Selanjutnya agar sensor dan komputer dapat berkomunikasi maka dibutuhkan IC74244 (buffer tiga kondisi). IC ini digunakan untuk mengamankan aliran data dari sensor ke komputer.

Kalibrasi Output SHT75 dan Kadar Air

Untuk mengkonversi dan kalibrasi nilai output sensor SHT75 ke nilai RH menggunakan persamaan:

$$RH = C_1 + C_2 SO_{RH} + C_3 SO_{RH}^2 \dots\dots\dots 1$$

dimana:

- C₁ = -4
- C₂ = 0,0405
- C₃ = -2,8 x 10⁻⁶

SO_{RH} = keluaran sensor untuk RH (dalam desimal)

Sedangkan persamaan yang digunakan untuk mengkonversi dan kalibrasi nilai keluaran sensor SHT75 menjadi nilai suhu adalah:

$$Suhu = d_1 + d_2 SO_T \dots\dots\dots 2$$

dimana:

- d₁ = -40°C
- d₂ = 0,01 °C

SO_T = keluaran sensor untuk suhu (dalam desimal)

Selanjutnya untuk menentukan nilai kadar air keseimbangan digunakan Persamaan EMC Henderson (Thompson 1967) dalam Brooker *et. al.*, (1992):

$$M = \left[\frac{\ln(1 - P_V / P_{VS})}{-K(T + C)100^N} \right]^{\frac{1}{N}} \dots\dots\dots 3$$

Validasi Metode Pendugaan Kadar Air

Proses validasi metode pendugaan kadar air dilakukan dengan cara meletakkan sensor SHT75 ke dalam tabung berisi jagung yang dihembus udara lingkungan menggunakan kipas sentrifugal. Kadar air pendugaan merupakan nilai perhitungan persamaan EMC Henderson dari pembacaan oleh sensor suhu dan RH. Nilai ini merupakan rata-rata dari 15 menit pendugaan. Pada saat ini juga sampel diambil untuk penentuan kadar air dengan menggunakan metode oven

Untuk memperoleh kadar air yang berbeda, biji jagung dikeringkan menggunakan udara panas (suhu udara 50°C) selama 30 menit dan kemudian didinginkan selama 10 menit. Setelah itu, udara lingkungan kembali dihembuskan melalui tumpukan jagung selama 30 menit dan pendugaan kadar air dilakukan menggunakan rata-rata dari 15 menit pengukuran terakhir. Cara ini diulangi sampai pada kadar air 13% b.k. Kemudian kadar air pendugaan dan kadar air hasil pengukuran diplot pada grafik dan ditentukan nilai R²nya.

Pengujian Sistem Kendali

Setelah tahap penyusunan program logika pengendalian selesai, maka SHT75 (sensor suhu dan kelembaban), perangkat catu daya, relay, kipas, serta unit komputer diintegrasikan. Pengujian kinerja sistem kendali yang telah terintegrasi dengan pengering ERK-*hybrid* dan ISD dilakukan dimana parameter-parameter yang terkait dengan kinerja pengendalian dianalisis, yang mencakup perubahan suhu, RH, kadar air, dan waktu pengeringan. Hubungan-hubungan antara variabel-variabel di atas dianalisis secara grafik. Sedangkan pengujian mutu hasil pengeringan dan penyimpanan dalam ISD meliputi kandungan aflatoksin dalam jagung.

Pengujian sistem kendali ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem pengendalian kadar air jagung pada ISD menggunakan komputer melalui *port paralel* telah bekerja sesuai dengan diagram alir pemrograman seperti pada Gambar 8, yaitu jika nilai pendugaan kadar air keseimbangan telah tercapai yaitu kurang dari 13% b.k. maka kipas pada ISD dalam kondisi *off*, jika tidak/belum tercapai maka *on*. Di samping itu, hasil pengujian akan dianalisis dan diamati perubahan suhu, RH, dan kadar air berdasarkan data yang diperoleh selama pengujian. Pada pengujian sistem kendali ini dilakukan 2 (dua) kali, untuk melihat kinerja ISD pada kondisi lingkungan yang berbeda. Pengujian pertama dan kedua dilakukan dengan cara mengoperasikan sistem kendali hingga kadar air jagung dalam ISD mencapai kadar air kurang dari 13% b.k. Pada kedua pengujian ini dilakukan pengambilan dan penyimpanan data



yang terdiri atas suhu dan RH lingkungan, suhu dan RH pada ISD, kadar air keseimbangan lingkungan, kadar air keseimbangan pada ISD, dan kondisi pengendalian kipas pada ISD. Sampling data dilakukan tiap jam, namun data yang terekam melalui sistem kendali adalah per menit.

Analisis Kualitas Jagung Hasil Pengeringan Berdasarkan SNI

Jagung bahan baku pakan ternak adalah jagung pipilan hasil tanaman jagung (*Zea mays L*) berupa biji kering yang telah dilepaskan dan dibersihkan dari tongkolnya. Untuk menganalisis kualitas jagung hasil pengeringan digunakan persyaratan mutu standar jagung bahan baku pakan sesuai SNI 01-4483-1998. Analisis kualitas dilakukan dua kali, yang pertama adalah pada kondisi awal dengan kadar air sekitar 17,61%. Sedangkan analisis kualitas kedua dilakukan setelah dikeringkan dalam ISD hingga mencapai kadar air 12,37% b.k. dan disimpan dalam ISD hingga 30 (tiga puluh) hari. Analisis dilakukan di laboratorium Balitro dan Balitvet Bogor. Untuk analisis kadar abu, serat, lemak, dan protein dilakukan di laboratorium Balitro sedangkan untuk analisis aflatoksin dilakukan di laboratorium Balitvet. Untuk analisis aflatoksin dibutuhkan 4 sampel dengan berat masing-masing 500 gram. Sedangkan untuk analisis kadar protein, serat kasar, abu dan lemak dibutuhkan 3 sampel dengan berat masing-masing 500 gram.

Waktu yang dibutuhkan untuk analisis tersebut sekitar seminggu atau 7 (tujuh) hari kerja. Setelah analisis selesai selanjutnya dilakukan pengamatan terhadap kualitas jagung hasil pengeringan dan penyimpanan dalam ISD. Di samping itu kualitas jagung dibandingkan dengan SNI.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hardware Sistem Kendali pada ISD

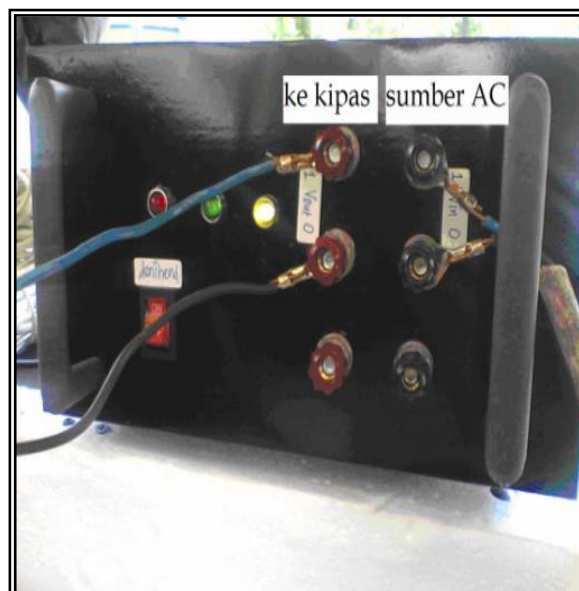
Pada penelitian ini dibuat sistem pengendalian berbasis PC seperti skema yang terdapat pada Gambar 1. Pada sistem pengendalian ini perangkat keras (hardware)

yang dibuat meliputi rangkaian catu daya, rangkaian kendali, rangkaian port paralel dengan IC74244 (buffer tiga kondisi), dan rangkaian untuk sensor SHT75. Jalur komunikasi data antara komputer dengan sensor SHT75 digunakan perangkat antar muka (interfacing) port paralel. Secara umum bagian-bagian pada perangkat kendali pada ISD yang telah dirancang bangun adalah sebagai berikut:

Bagian-bagian Luar Perangkat Sistem Kendali

Bagian luar perangkat sistem kendali seperti tampak pada Gambar 3. Pada bagian luar ini terletak tombol *power*, beberapa lampu indikator, serta terminal *input* (sumber tegangan) dan *output* yang dihubungkan ke *blower*/kipas ISD.

Sedangkan pada bagian belakang dari perangkat sistem kendali ini terdapat kipas untuk sistem pendingin, sekering untuk sistem proteksi, konektor ke sensor SHT75, dan port paralel untuk dihubungkan ke komputer.



Gambar 3 Perangkat sistem kendali tampak luar

Bagian-bagian dalam Perangkat Sistem Kendali

Bagian dalam sistem kendali diperlihatkan pada Gambar 4. pada bagian dalam sistem tampak beberapa komponen di antaranya

seperti trafo, magnet kontaktor, dan *buffer* tiga kondisi. Trafo digunakan untuk penurunan tegangan dari 220 V menjadi 12 V dan 5 V. Magnet kontaktor digunakan sebagai saklar *on/off* untuk mengkondisikan kipas pada ISD. Sedangkan *buffer* tiga kondisi untuk mengatur penulisan dan pembacaan data melalui sensor SHT75.

Perangkat sistem kendali yang diintegrasikan dengan komputer terdiri atas sistem catu daya dan relay pada bagian bawah, sistem proteksi terhadap arus dan tegangan lebih pada bagian tengah, serta *buffer* tiga kondisi pada bagian atas.



Gambar 4. Perangkat sistem kendali tampak dalam

Perangkat sistem kendali ini terbagi atas 3 (tiga) bagian. Bagian pertama adalah bagian bawah yang terdiri atas rangkaian catu daya dan rangkaian relay. Catu daya yang disediakan berupa sumber tegangan 5 volt dan 12 volt. Tegangan 5 volt digunakan untuk mencatu tegangan ke sensor SHT75, sedangkan tegangan 12 volt digunakan untuk menggerakkan *relay*.

Untuk sistem pengamanan perangkat sistem kendali dari kesalahan instalasi, maka perangkat ini dilengkapi dengan sistem proteksi yang terdiri atas proteksi terhadap arus lebih dan tegangan lebih. Proteksi terhadap arus lebih digunakan sekering 0,25 mA dan untuk proteksi terhadap tegangan lebih digunakan dioda zener 5 volt. Dioda ini berfungsi mengamankan sensor

SHT75 yang sangat peka terhadap tegangan lebih. Sedangkan sekering digunakan sebagai pengamanan secara keseluruhan pada perangkat sistem kendali.

Pada pengujian dan penerapan sistem kendali ini, juga dilengkapi dengan panel alat ukur voltmeter dan ampere meter. Panel-panel ukur ini digunakan untuk mengetahui nilai tegangan dan arus selama proses pengendalian berlangsung. Selain itu, dengan panel-panel alat ukur ini digunakan juga untuk memonitor fluktuasi tegangan dan arus. Data yang tampil pada monitor dan terekam meliputi data-data waktu pengambilan data, suhu lingkungan, RH lingkungan, suhu pada ISD, RH pada ISD, kadar air keseimbangan lingkungan dan ISD, serta kondisi kipas pada ISD.

Kalibrasi Sensor SHT75 pada Sistem Kendali ISD

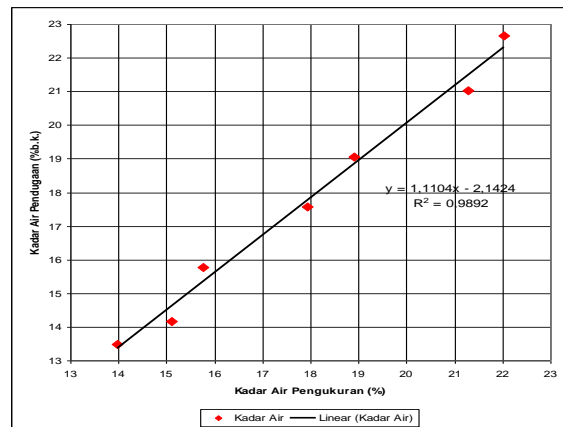
Hasil kalibrasi suhu sensor SHT75 dengan menggunakan termometer standar diperoleh hasil seperti pada Gambar 5. Secara keseluruhan hasil kalibrasi ini baik, karena nilai suhu yang terbaca oleh sensor relatif sama dengan suhu yang terbaca oleh termometer standar. Dari grafik terlihat hubungan antara nilai suhu standar dengan suhu pengukuran sensor SHT75 adalah linier dengan nilai $R^2=0,9959$ untuk lingkungan dan $R^2=0,9875$ untuk ISD.

Sedangkan hasil kalibrasi RH sensor SHT75 diperoleh seperti pada Gambar 6. Nilai RH sensor SHT75 dikalibrasi menggunakan alat pengering berakuisisi sebagai acuan. Berdasarkan grafik terlihat hubungan antara nilai RH standar dengan RH pengukuran sensor SHT75 adalah linier dengan nilai $R^2=0,9974$ untuk sensor SHT75 di lingkungan dan $R^2=0,9901$ untuk sensor SHT75 pada ISD. Pembacaan nilai RH antara sensor SHT75 dengan alat pengering terjadi selisih antara 2%-3%, kecuali pada saat pembacaan suhu 50 °C dan RH 75%. Selain itu nilai RH yang terekam telah sesuai dengan *data sheet* SHT75, bahwa sensor tersebut memiliki akurasi sekitar 2%.

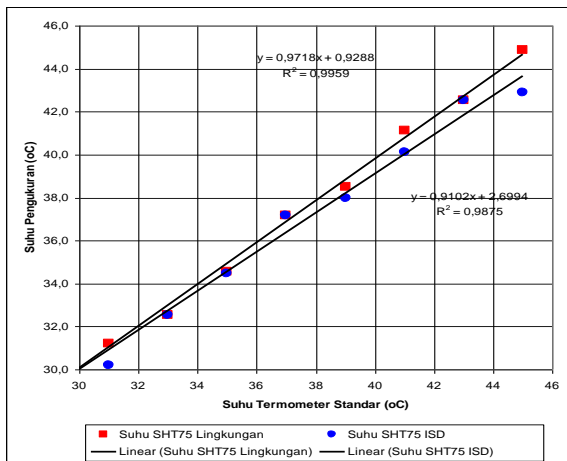
Selain suhu dan RH, persamaan perhitungan kadar air keseimbangan yaitu persamaan (1) juga dilakukan kalibrasi. Persamaan ini yang digunakan untuk menduga



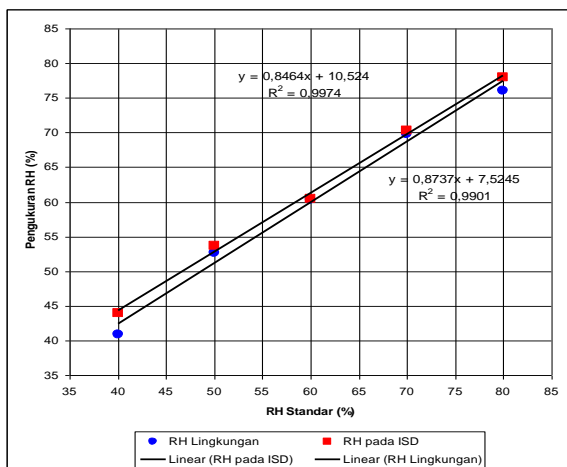
nilai kadar air keseimbangan pada jagung, di mana nilai kadar air jagung diasumsikan sama dengan kadar air keseimbangan. Hasil kalibrasi persamaan perhitungan kadar air keseimbangan seperti terlihat pada Gambar 7. Nilai kadar air hasil pendugaan dikalibrasi dengan nilai kadar air menggunakan metode oven. Nilai kadar air yang diukur dan diduga berada pada selang 13%-23% b.k. Berdasarkan grafik terlihat hubungan antara nilai kadar air pendugaan dan pengukuran adalah linier dengan nilai $R^2=0,9892$. Sedangkan nilai selisih rata-rata antara kadar air perhitungan dan pengukuran adalah 0,17 %.



Gambar 7. Hasil kalibrasi nilai kadar air pendugaan dengan pengukuran (oven)



Gambar 5. Hasil kalibrasi suhu sensor SHT75 dengan termometer standa



Gambar 6. Nilai hasil kalibrasi RH sensor SHT75 dengan alat pengeringan

Uji Kinerja Penerapan Sistem Kendali pada ISD

Perubahan Suhu dan RH

Berdasarkan hasil pengujian sistem kendali pada ISD diperoleh fluktuasi suhu lingkungan dan ISD selama pengeringan berlangsung. Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada siang hari nilai kadar air kurang dari 13% b.k diperoleh setelah 50 jam pengeringan atau dengan rata-rata operasi 10 jam per hari.

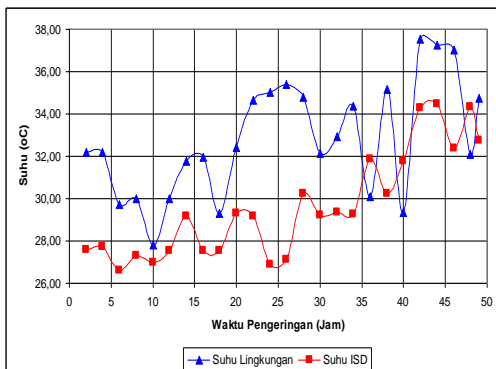
Nilai suhu lingkungan tertinggi yang dideteksi oleh sensor mencapai 37,54°C, suhu terendah adalah 27,83°C, sedangkan suhu rata-rata lingkungan adalah 32,8°C. Suhu lingkungan cenderung fluktuatif, hal ini disebabkan oleh cuaca yang fluktuasi. Selama pengeringan berlangsung dapat dikatakan secara umum bahwa kondisi cuaca cerah dan kadang berawan. Suhu tertinggi pada ISD terekam adalah 34,46°C, suhu terendah 26,61°C, dan suhu rata-rata ISD 29,62°C. Selisih rata-rata antara suhu lingkungan dengan ISD adalah 3,18°C. Gambar 8 memperlihatkan grafik fluktuasi suhu lingkungan dan suhu pada ISD selama pengeringan pada pengujian 1.

Pada pengujian 2, nilai suhu lingkungan tertinggi 35,45°C, suhu terendah adalah 24,43°C, sedangkan suhu rata-rata lingkungan adalah 31,14°C. Sedangkan suhu tertinggi pada ISD terekam adalah 32,25°C, suhu terendah 24,02°C, dan suhu rata-rata ISD 27,72°C. Selisih rata-rata antara suhu lingkungan dengan ISD adalah 3,42 °C. Gambar 9 memperlihatkan

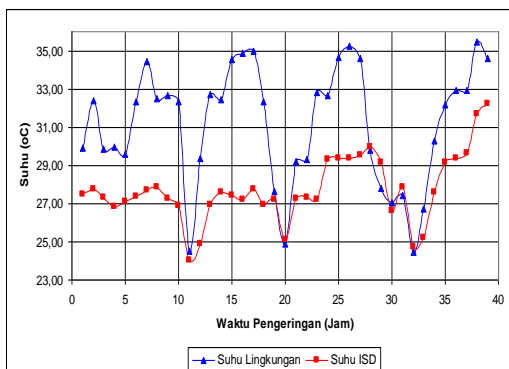
grafik fluktuasi suhu lingkungan dan suhu pada ISD selama pengeringan pada pengujian 2.

Berdasarkan data yang diperoleh bahwa RH lingkungan tertinggi tercatat 67,75%, terendah 38,26%, dengan rata-rata 51,93%. Sedangkan RH tertinggi pada ISD adalah 75,44%, terendah 53,95% sedangkan RH rata-rata selama proses pengeringan adalah 67,25%. Selisih rata-rata antara RH lingkungan dan RH ISD adalah 15,32%. Perubahan RH lingkungan dan ISD selama pengeringan dapat dilihat pada Gambar 10. Kipas pada ISD akan off jika $KA_{Lingk} < KA_{ISD}$ dan atau $KA_{ISD} < 13\% \text{ b.k.}$ Hal ini membuktikan bahwa sistem kendali telah bekerja sesuai dengan diagram alir pemrograman seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.

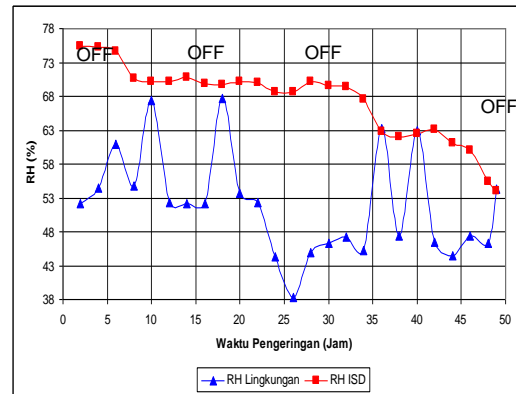
Pada pengujian 2, RH lingkungan tertinggi tercatat 74,91%, terendah 37,98%, dengan rata-rata 54,16%. Sedangkan RH tertinggi pada ISD adalah 77,91%, terendah 53,06% sedangkan RH rata-rata selama proses pengeringan adalah 71,82%. Selisih rata-rata antara RH lingkungan dan RH ISD adalah 17,67%. Perubahan RH lingkungan dan ISD selama pengeringan pengujian 2 dapat dilihat pada Gambar 11.



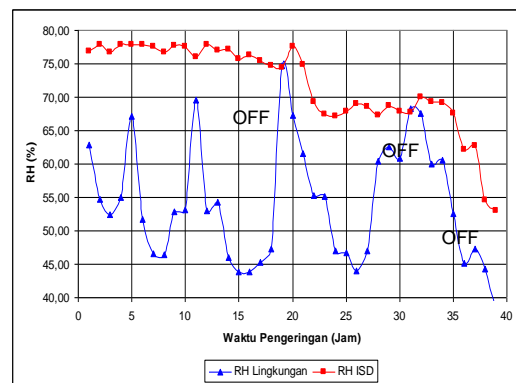
Gambar 8. Fluktuasi suhu selama pengeringan pada pengujian 1



Gambar 9. Fluktuasi suhu selama pengeringan pada pengujian 2



Gambar 10. Fluktuasi RH selama pengeringan pada pengujian 1



Gambar 11. Fluktuasi RH selama pengeringan pada pengujian 2

Penurunan Kadar Air

Kadar air jagung awal pada pengujian 1 adalah 17,61% b.k. dengan beban 1201,2 kg. Berdasarkan hasil pengujian sistem kendali pada ISD bahwa pengeringan dengan suhu rata-rata lingkungan 32,8°C dan RH lingkungan rata-rata 51,93%, mampu menurunkan kadar air dari sekitar 17,61% b.k. menjadi 12,37% b.k. Perubahan nilai kadar air jagung terhadap waktu pengeringan dan perbandingan perubahan kadar air lingkungan dan kadar air jagung dalam ISD dapat dilihat pada Gambar 12.

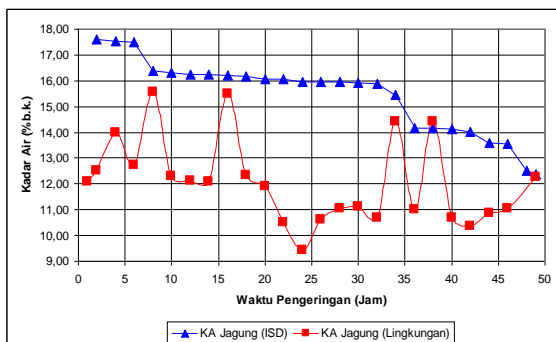
Pada pengujian 2, dengan beban 915 kg dan waktu pengeringan berkisar 40 jam diketahui bahwa pengeringan dengan suhu rata-rata lingkungan 31,14°C dan RH lingkungan rata-rata 54,16%, mampu menurunkan kadar air dari sekitar 18,02% b.k. menjadi 12,25% b.k. Nilai perubahan kadar air jagung terhadap waktu pengeringan dan perbandingan perubahan kadar air lingkungan dan kadar air jagung dalam ISD dapat dilihat pada Gambar 13.



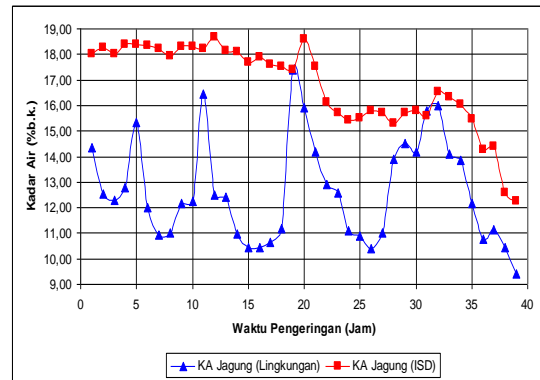
Secara umum, berdasarkan hasil penerapan dan pengujian sistem kendali pada ISD diperoleh bahwa sistem kendali telah berfungsi dengan baik. Hal ini dibuktikan dengan perangkat sensor yang telah mampu membaca suhu dan RH, dan dapat menduga nilai kadar air jagung menggunakan persamaan (1).

Berdasarkan hasil akhir pengukuran kadar air jagung menggunakan metode oven diperoleh nilai kadar air 12,08% b.k. pada pengujian 1 dan 12,20% b.k. pada pengujian 2. Sedangkan nilai kadar air hasil pendugaan 12,37% b.k. pada pengujian 1 dan 12,25% b.k. pada pengujian 2. Selisih rata-rata antara pengukuran dan pendugaan adalah 0,96%. Perbedaan ini terjadi disebabkan nilai kadar air hasil pengukuran merupakan nilai rata-rata, sedangkan nilai pendugaan yang didapat merupakan nilai hasil perhitungan melalui sensor pada sistem kendali. Di samping itu nilai kadar air hasil pendugaan yang diperoleh merupakan nilai kadar air jagung yang berada di lapisan yang paling atas. Gambar 14 memperlihatkan perbandingan nilai kadar air hasil pendugaan dengan nilai kadar air hasil pengukuran menggunakan metode oven pada pengujian 1.

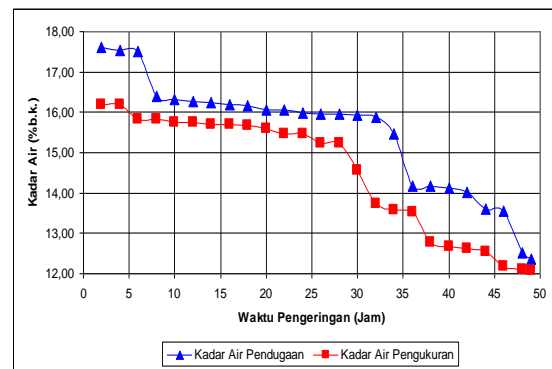
Gambar 15 memperlihatkan perbandingan nilai kadar air hasil pendugaan dengan nilai kadar air hasil pengukuran menggunakan metode oven pada pengujian 2. Penurunan kadar air hasil pendugaan merupakan bukti bahwa sistem kendali yang digunakan dapat bekerja dengan baik. Meskipun penurunannya tidak sama antara nilai pengukuran dan pendugaan. Perbedaan nilai pengukuran dan pendugaan terjadi karena nilai pengukuran merupakan nilai rata-rata, sedangkan nilai pendugaan merupakan nilai kadar air jagung yang berada di lapisan yang atas. Selain itu, hal tersebut juga menunjukkan bahwa sistem kendali pada ISD telah bekerja sesuai dengan diagram alir pemrograman yang telah disusun.



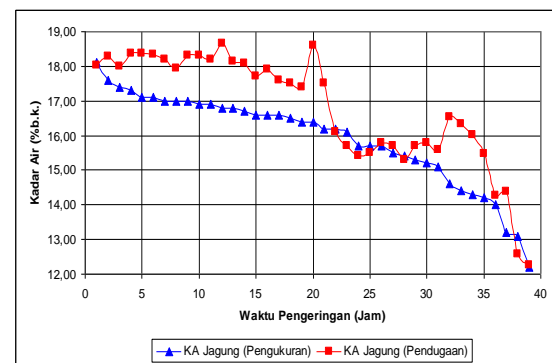
Gambar 12. Nilai KA jagung (lingkungan) dan KA jagung (ISD) pengujian 1



Gambar 13. Nilai Kadar air lingkungan dan ISD hasil pendugaan pengujian 2



Gambar 14. Perbandingan KA hasil pendugaan dan pengukuran pengujian 1



Gambar 15 . Perbandingan KA hasil pendugaan dan

Pengamatan Kualitas Sebelum dan Setelah Pengeringan dalam ISD

Tabel 1 di bawah ini adalah data perbandingan kualitas jagung awal (saat dipindahkan dari pengering ERK ke ISD) dengan kualitas akhir (setelah pengeringan

dalam ISD) dan kualitas menurut SNI. Analisis kualitas dilakukan dua kali, yang pertama adalah pada kondisi awal dengan kadar air sekitar 17,61% b.k. Sedangkan analisis kualitas kedua dilakukan setelah dikeringkan dalam ISD hingga mencapai kadar air 12,37% b.k. dan disimpan dalam ISD hingga 30 (tiga puluh) hari. Nilai hasil pengujian tersebut merupakan nilai rata-rata dari 4 sampel yang dilakukan analisis.

Berdasarkan Tabel 1, secara umum hasil analisis menunjukkan kualitas jagung awal dan setelah dikeringkan dan disimpan dalam ISD adalah masih memenuhi persyaratan SNI jagung pipilan untuk pakan kecuali kadar protein. Kadar protein kasar mengalami penurunan dari 7,76% menjadi 6,62%. Hal ini mungkin dikarenakan selama penyimpanan terjadi penurunan kandungan Nitrogen pada senyawa protein dalam jagung. Nitrogen biasanya diperlukan untuk pertumbuhan mikroorganisme, yang mungkin dalam jumlah sangat kecil terdapat dalam komoditas jagung. Parameter mutu lain, yaitu kadar serat, abu, dan lemak mengalami perubahan nilai setelah pengeringan dan penyimpanan, namun masih dalam batas persyaratan SNI.

Kontaminasi maksimum aflatoxin yang dipersyaratkan oleh SNI untuk pakan ternak adalah 50 ppb, sedangkan dari hasil pengujian rata-rata kontaminasi aflatoxin B₁ ketika masuk ISD sebesar 18,48 ppb dan setelah dilakukan pengeringan dan penyimpanan selama 30 (tiga puluh) hari dalam ISD terjadi peningkatan menjadi 21,1 ppb.

Iklm Indonesia dengan suhu dan kelembaban yang relatif tinggi sangat mendukung pembentukan senyawa aflatoxin

oleh kapang jenis *Aspergillus flavus* yang sering mencemari komoditas jagung dan kacang tanah. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa kondisi terbentuknya aflatoxin adalah pada interval suhu 10°C – 40°C dengan RH >80% (Syarief dan Halid, 1994). Menurut Prastowo (1998), aflatoxin hanya ditemukan pada biji jagung di bagian bawah silo baik pada penyimpanan selama empat bulan maupun penyimpanan selama 8 bulan, masing-masing 40,08 ppb dan 43,85 ppb jenis untuk aflatoxin B₁. Namun jumlah tersebut masih di bawah ambang maksimum yang dipersyaratkan dalam SNI jagung pakan.

Sementara itu BPOM mengatur ambang maksimum aflatoxin B₁ pada jagung untuk konsumsi manusia sebesar 20 ppb dan total aflatoxin 35 ppb (Paramawati 2004). Dengan demikian komoditas jagung ini tidak memenuhi syarat untuk konsumsi manusia. Oleh karena itu disarankan agar ISD lebih sesuai digunakan untuk mengeringkan dan menyimpan komoditas jagung pipilan guna keperluan pakan ternak.

Tabel 1. Hasil perbandingan parameter kualitas jagung saat dimasukkan ke ISD, setelah pengeringan dan penyimpanan 30 hari dalam ISD dan persyaratan SNI jagung pakan

No	Jenis pengujian	Persyaratan mutu SNI	Hasil uji laboratorium	
			Sebelum	Setelah
1	Kadar protein (minimum) (%)	7,5	7,76	6,62
2	Kadar serat kasar (maksimum) (%)	3	2,56	2,88
3	Kadar abu (maksimum) (%)	2	1,24	1,23
4	Kadar lemak (minimum) (%)	3	3,80	3,24
5	Aflatoxin (maksimum) (%)	50	18,48	21,10



KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Sistem kendali pada ISD yang terdiri atas rangkaian catu daya, rangkaian kendali, rangkaian port paralel dengan IC74244 (buffer tiga kondisi), dan rangkaian untuk sensor SHT75 telah berhasil dibuat. Berdasarkan pengujian sistem kendali dengan suhu lingkungan rata-rata 32,8°C dan RH rata-rata 51,93%, pengeringan pada ISD dengan beban 1201,2kg mampu menurunkan kadar air dari sekitar 17,61% b.k. hingga 12,37% b.k. selama pengeringan 50jam. Sedangkan pengeringan dengan beban 915 kg, suhu lingkungan rata-rata 31,14 °C dan RH lingkungan rata-rata 54,16% mampu menurunkan kadar air dari sekitar 18,02% b.k. menjadi 12,25% b.k. dalam waktu 40 jam;
2. Setelah dikeringkan selama 50 jam hingga kadar air 12,37% b.k. dan disimpan selama 30 hari, melalui analisis laboratorium diketahui bahwa kontaminasi aflatoxin B₁ pada jagung hasil adalah sebesar 21,1 ppb dan ini masih di bawah ambang yang dipersyaratkan oleh SNI jagung pakan yaitu 50 ppb.

Saran

Untuk ketepatan pendugaan dalam perhitungan kadar air maka diperlukan beberapa unit sensor pada sistem kendali yang diletakkan di dalam ISD.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1998. SNI 01-4483-1998. *Standar Mutu Jagung Bahan Baku Pakan*. Jakarta: Badan Standar Nasional (BSN).
- Brooker D.B., F.W. Bakker-Arkema, and C.W. Hall. 1992. *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Budiharto W. 2004. *Interfacing Komputer dan Mikrokontroler*, Penerbit PT EexMedia Komputindo, Jakarta.
- Manalu, L.P. 1999. *Pengering Energi Surya dengan Pengaduk Mekanis untuk Pengeringan Kakao*. Tesis Magister. Institut Pertanian Bogor. IPB.
- Nelwan, L.O., A. Kamarudin, H. Suhardiyanto, dan M.I. Alhamid. 1997. *Performansi Pengeringan Kakao dengan Alat Pengering Tipe Efek Rumah Kaca*. Seminar PERTETA di Bandung tanggal 7-8 Juli 1997.
- Nelwan, L.O. 2007. *Rancang Bangun Alat Pengering Efek Rumah Kaca (ERK)-hybrid dan In Store Dryer Terintegrasi*. Laporan Proyek Penelitian KKP3T Departemen Pertanian.
- Paramawati, R. 2004. *Aspek Keamanan Pangan dalam Produksi Jagung dan Produk Olahannya*. Makalah pada Seminar Sehari Mekanisasi Pertanian, Jakarta 20 Desember 2004.
- Prastowo, B. 1998. *Rekayasa Teknologi Mekanis untuk Budidaya Tanaman Jagung dan Upaya Pascapanennya pada Lahan*. Buletin Enjiniring Pertanian Vol. 1 No. 2 Juli 1994. ISSN 08577203. Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian. BBPM Pertanian Serpong, Indonesia.
- Ryniecki A., M.G. Witulska, J. Wawrzyniak. 2007. *Correlation for the Automatic Identification of Drying endpoint in near-Ambient Dryers: Application to Malting Barley*. Food Engineering Group, Institute of Food Technology of Plant Origin, Agriculture University, Wojska Polskiego, Poland.
- Szrednicki G.S., R. Hou, and R.H. Driscoll. 2005. *Development of Control System for In Store Drying of Paddy in Northeast China*. Journal of Food Engineering. The University of South Wales, Sidney NSW 2052, Australia.

