

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 6, No. 1, April 2018



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember, dan mulai tahun ini berisi 15 naskah untuk setiap nomornya. Peningkatan jumlah naskah pada setiap nomornya ini dimaksudkan untuk mengurangi masa tunggu dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota PERTETA tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain meliputi teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam invited paper yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, review perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, technical paper hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta research methodology berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (online submission) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)
Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)
Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makassar)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)
Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)
Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)
Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)
Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 6 No. 1 April 2018. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Edward Saleh, MS (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Nurpilihan Bafdal, M.Sc (Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.eng (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Andri Prima Nugroho, STP., M.Sc (Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwantana (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Radite Praeko Agus Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Prof.Ir. I Made Anom Sutrisna Wijaya, M.App.Sc., Ph.D (Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Dr.Ir. Amin Rejo, M.P (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Daniel Saputra, MS (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Hasbi, MSi (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Dr. Siti Nikmatin, M.Si (Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor), Dr. Farkhan (PT. CNC Controller Indonesia), Dr. Alimuddin, ST., MM., MT (Universitas Sultan Ageng Tirtayasa) Dr. Dedy Wirawan Soedibyo, STP., M.Si (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Jember), Dr. Radi, STP., M.Eng (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Lenny Saulia, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Nursigit Bintoro, M.Sc (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Rokhani Hasbullah, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Andasuryani, STP., M.Si (Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Andalas), Dr.Ir. I Wayan Budiastira, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. Nora H. Pandjaitan, DEA (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Rusnam, MS (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Radi, STP., M.Eng (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr. Suhardi, STP., MP (Program Studi Keteknikan Pertanian, Universitas Hasanuddin) Dr. Ir. Yuli Suharnoto, M.Eng (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Desain Sistem Kontrol dan Monitoring Kondisi Udara pada *Controlled Atmosphere Storage* Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno

Design of Control and Monitoring System of Air Condition at Controlled Atmosphere Storage Based on Arduino Uno Microcontroller

Widyaningrum, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Institut Pertanian Bogor.
STPP Manokwari, Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian, Kementerian Pertanian
Email: diowidio@gmail.com

Yohanes Aris Purwanto, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: arispurwanto@gmail.com

Sutrisno Mardjan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: kensutrisno@yahoo.com

Abstract

Storage by controlling the composition of air or oxygen and carbon dioxide concentration settings is called controlled atmosphere storage. Controlled atmosphere storage aims at controlling metabolism of fresh product to extended the shelf-life. The concentration of oxygen and carbon dioxide in product are maintained at a desired concentration. The objective of this research was to design a control and monitoring system of oxygen, carbon dioxide, temperature and relative humidity in the storage by using Arduino Uno microcontroller. Design approach consists of functional and structural design. The main function of the system control were to control gas injection, open and close the solenoid valve, control the amount of injection, and reading the sensor. Measurements and testing included sensor calibration and functional testing of the control and monitoring system with no-load conditions. Analysis of the experiment results was conducted by using statistical analysis of repeated measures ANOVA. The result of observation and measurements of temperature with no-load conditions was 9.88°C, RH 73.73%, concentration of carbon dioxide 2.22% and concentration of oxygen 4.63%. Accuracy between setpoint and actual temperature was of 98.84%. Accuracy between setpoint and actual RH was of 97.55%. Accuracy between setpoint and actual oxygen was of 83.98%. Accuracy between setpoint and actual carbon dioxide was of 74.26%.

Keywords: *Arduino Uno, controlled atmosphere storage (CAS), carbon dioxide, oxygen*

Abstrak

Penyimpanan dengan cara pengaturan komposisi udara atau pengaturan konsentrasi oksigen dan karbondioksida dikenal dengan penyimpanan dengan pengendalian atmosfer. Teknik atmosfer terkendali sekitar produk bertujuan untuk mengendalikan metabolisme produk segar sehingga masa simpan dapat diperpanjang. Konsentrasi oksigen dan karbondioksida disekitar produk dijaga pada suatu konsentrasi yang diinginkan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kontrol dan monitoring oksigen dan karbondioksida serta suhu dan kelembaban di dalam ruang penyimpanan dengan mengimplementasikan mikrokontroler Arduino Uno. Pendekatan rancangan terdiri dari dua jenis yaitu rancangan fungsional dan rancangan struktural. Fungsi dan struktur utama dari sistem yang dibuat adalah sistem pengontrolan terhadap injeksi gas, buka tutup *solenoid valve*, mengontrol lama injeksi, dan melakukan pembacaan sensor. Pengukuran dan pengujian meliputi kalibrasi sensor dan pengujian fungsional kinerja kontrol dan monitoring. Analisis hasil percobaan dilakukan dengan menggunakan analisis statistik *repeated measures ANOVA*. Hasil pengamatan dan pengukuran suhu adalah 9.88°C, RH 73.73%, karbondioksida 2.22% dan oksigen 4.63%. Perbandingan antara *setpoint* dan aktual diperoleh akurasi suhu 98.84%. Perbandingan antara *setpoint* dan aktual diperoleh akurasi RH 97.55% Perbandingan antara *setpoint* dan aktual diperoleh akurasi oksigen 83.98%. Perbandingan antara *setpoint* dan aktual diperoleh akurasi karbondioksida 74.26%.

Kata Kunci: *Arduino uno, controlled atmosphere storage (CAS), karbondioksida, oksigen*

Diterima: 15 Maret 2017; Disetujui: 1 Februari 2018

Latar Belakang

Penyimpanan dengan cara pengaturan komposisi udara atau pengaturan konsentrasi oksigen dan karbondioksida dikenal dengan penyimpanan dengan pengendalian atmosfer. *Controlled atmosphere storage* (CAS) adalah metode penyimpanan dengan pengendalian konsentrasi oksigen dan karbondioksida secara terus menerus sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan (Rangkuti 2010).

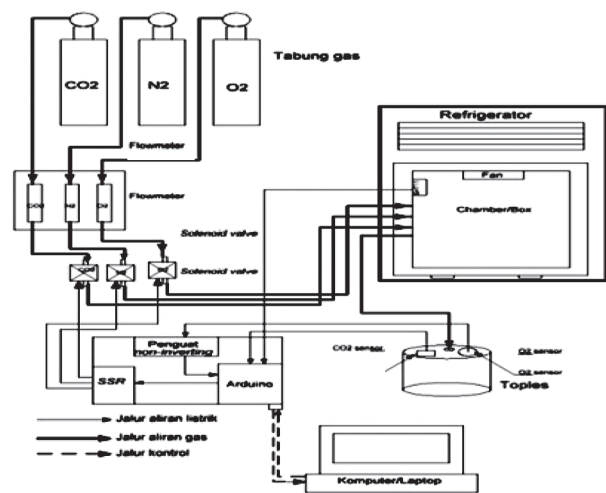
Teknik atmosfer terkendali sekitar produk bertujuan untuk mengendalikan metabolisme produk segar sehingga masa simpan dapat diperpanjang. Konsentrasi gas O₂ dan atau CO₂ di sekitar produksi segar dijaga pada suatu konsentrasi yang diinginkan. Dengan adanya pengendalian kedua gas tersebut akan terjadi hambatan laju respirasi sehingga laju respirasi relatif rendah pada batas tidak menimbulkan kondisi respirasi anaerobik pada produk segar tersebut. Secara teknis atmosfer terkendali mencakup penambahan atau pengurangan gas-gas yang menghasilkan susunan udara yang sangat berbeda dengan udara biasa. Jadi, CO₂, O₂, CO, C₂H₄, asetilena, atau N₂ dapat diatur untuk mendapatkan berbagai kombinasi komposisi gas. Namun, dalam penerapannya sekarang atmosfer terkendali merupakan istilah untuk penambahan CO₂, penurunan O₂, dan kandungan N₂ tinggi dibanding udara pada umumnya (Argo *et al.*, 2008). Didalam penyimpanan atmosfer terkendali, temperatur dan komposisi gas dari penyimpanan telah diatur dengan kisaran konsentrasi gas adalah 1-10% oksigen dan 0-30% karbondioksida dan nitrogen sebagai penyeimbang (Robinson dan Eskin, 2001).

Beberapa usaha dan penelitian terkait CAS sudah dilakukan diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Sumardi (1999) yang melakukan perancangan kendali otomatis CA. Alat analisis gas yang digunakan untuk mengukur kandungan O₂ adalah gas *analyzer* merk Shimadzu tipe POT-101

dan tipe IRA/URA 107 untuk mengukur CO₂ dimana hasil rancangan telah dapat digunakan untuk mengendalikan kondisi gas di dalam *chamber*. Argo *et al.* (2008) telah melakukan pembuatan sistem monitoring dengan menggunakan mikrokontroler AT89S51 hasilnya adalah kemampuan sensor mengukur kandungan maksimum oksigen yang dapat dideteksi adalah 5.8% dan karbondioksida adalah 3% yang disebabkan karena penguatan ADC hanya mampu sampai pada angka tersebut sehingga sensor perlu dikalibrasi ulang atau mengganti rangkaian penguat. Pada penelitian Agustiningrum *et al.* (2014) dibuat *respiration chamber* yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan bahan yang terdiri dari pompa vakum dan keran yang dipasang pada bagian atas *respiration chamber*. *Respiration chamber* divakum hingga tercapai tekanan tertentu kemudian melalui keran dialirkan gas N₂ hingga tekanan kembali menjadi 1 atm. Pengujian konsentrasi gas O₂ dilakukan dengan menggunakan O₂ dan CO₂ *analyzer* dengan menusukkan sensor jarum melalui penutup karet injeksi pada tutup *respiration chamber*.

Penerapan teknologi *controlled atmosphere storage* di Indonesia masih terbatas dan terkendala dikarenakan teknologi CAS yang masih mahal dan sangat rumit untuk diterapkan. Salah satu cara untuk memonitoring dan mengontrol kondisi udara ruang pada sistem CAS adalah dengan mengimplementasikan sistem monitoring dan kontrol dengan memanfaatkan teknologi mikrokontroler Arduino Uno. Arduino Uno merupakan *single-board* mikrokontroler yang dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang dan memiliki *hardware* yang dikembangkan secara *opensource*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang sistem kontrol dan monitoring oksigen dan karbondioksida serta merancang sistem monitoring suhu dan kelembaban di dalam ruang penyimpanan melalui *personal computer* (PC) dengan mikrokontroler Arduino Uno.



Gambar 1. Lay-out jaringan sistem monitoring.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gas nitrogen, gas karbondioksida dan gas oksigen. Peralatan yang digunakan yaitu mikrokontroler Arduino uno, sensor SHT11, sensor CDM4160-H00, sensor KE-25 *solenoid valve*, *solid state relay*, terminal listrik paralel, rangkaian *timer*, berbagai jenis kabel *jumper*, *personal computer*, satu buah *chamber* akrilik berukuran 40 x 40 x 50 cm dengan tebal 8 mm, toples kaca sebagai tempat pengukuran sampel gas, satu unit *refrigerator*, tabung gas beserta regulator O₂, CO₂, dan N₂, *flow meter*, *fan*, selang diameter 8 mm untuk mengalirkan gas-gas, O₂ *analyzer* sebagai alat bantu kalibrasi sensor KE-25, dan peralatan perbengkelan.

Metode

Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu melakukan analisis sistem, melakukan perancangan sistem kontrol dan monitoring, melakukan pengujian sistem kontrol dan monitoring, serta melakukan analisis hasil percobaan sistem kontrol dan monitoring.

Pendekatan Rancangan Fungsional

Secara keseluruhan konsep rancangan sistem monitoring suhu, kelembaban, serta sistem kontrol dan monitoring oksigen dan karbondioksida memiliki fungsi sebagai berikut: (1) Mengontrol dan memonitoring sistem menggunakan mikrokontroler arduino uno, (2) mendeteksi suhu dan kelembaban didalam ruang penyimpanan (*chamber*) menggunakan sensor SHT11, (3) mendeteksi kandungan oksigen didalam ruang penyimpanan (*chamber*) menggunakan sensor oksigen KE-25 yang perlu dikalibrasi terlebih dahulu tetapi tidak membutuhkan catu daya eksternal untuk beroperasi dan tidak memerlukan waktu pemanasan, (4) mendeteksi kandungan karbondioksida didalam ruang penyimpanan (*chamber*) menggunakan sensor CDM 4160-H00 yang mampu melakukan pendeteksian gas karbondioksida dengan range 400-45000ppm, (5) penghubung rangkaian berdaya rendah dengan rangkaian berdaya tinggi menggunakan *solid state relay* yang berfungsi sebagai *interface* untuk menghubungkan rangkaian mikrokontroler dengan arus listrik, (6) mengatur injeksi gas kedalam *chamber* menggunakan *solenoid valve* yang diatur berdasarkan waktu buka tutup katup solenoid (untuk karbondioksida) dan berdasarkan kadar gas yang terbaca (untuk oksigen) yang berfungsi secara otomatis.

Pendekatan Rancangan Struktural

Pada rancangan struktural dilakukan perancangan *hardware* dan *software*. Pada tahap perancangan *software* dilakukan pembuatan dan penyesuaian program untuk melakukan serangkaian pengujian sistem kontrol dan monitoring. Penulisan program kendali ditulis di halaman Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) dan bahasa pemrograman didasarkan pada bahasa C/C++. Pada tahap perancangan *hardware* terdiri atas pemasangan rangkaian sensor CDM 4160-H00, SHT11, dan KE-25. Kemudian terdapat penguat *non-inverting*, *solid state relay*, *solenoid valve*, mikrokontroler Arduino uno, terminal listrik paralel, toples kaca dan *chamber* akrilik.

Prosedur Pengukuran dan Pengujian

Pada tahap ini dilakukan pengujian fungsional terhadap sistem monitoring suhu, kelembaban, sistem kontrol dan monitoring oksigen dan karbondioksida untuk mengetahui dan memastikan bahwa setiap bagian dapat berfungsi dengan baik.

Uji fungsional meliputi (1) uji kalibrasi sensor, (2) uji pengukuran menggunakan sensor SHT 11, CDM 4160-H00 dan KE-25. Pada antar muka *serial monitor* akan ditampilkan nilai dari sensor SHT11, sensor CDM4160-H00 dan sensor KE-25 sehingga dapat mengetahui dan mengamati nilainya. Selanjutnya dilakukan pengaturan penggunaan sistem kontrol dengan memasukkan nilai *setpoint* sebagai acuan untuk memberikan perintah pada *solenoid valve*. Pengujian dilakukan dengan kondisi *chamber* dalam keadaan kosong. Pengujian dan pengukuran dilakukan tiga kali pengujian masing-masing selama lima kali injeksi.

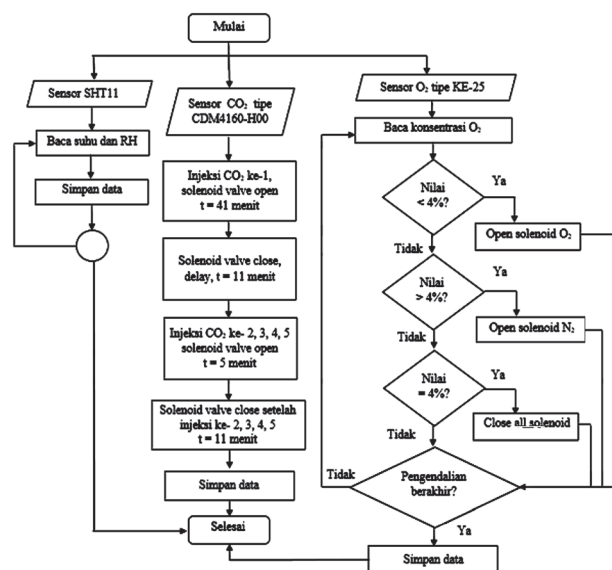
Analisis Hasil Percobaan

Berdasarkan data yang diperoleh dan pengujian yang dilakukan, maka dilakukan analisis hasil dari percobaan. Analisis ini dilakukan agar data hasil pengujian dapat digunakan dan dijadikan rujukan untuk penyempurnaan sistem kontrol dan monitoring lebih lanjut. Data yang diambil merupakan data pembacaan sensor SHT11 yaitu data suhu dan kelembaban, data sensor KE-25 yaitu data kadar oksigen, data sensor CDM4160-H00 yaitu data kadar karbondioksida. Analisis data hasil percobaan yang diperoleh dapat menggambarkan kurva kinerja sistem kontrol dan monitoring dengan *setpoint* yang diinginkan. Analisis statistika yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan selama pengujian adalah analisis *repeated measures ANOVA*, yaitu analisis varian yang menganalisis suatu variable yang diamati secara berulang pada periode waktu yang berbeda (Suaib, 2011).

Hasil dan Pembahasan

Kalibrasi Sensor

Dalam penelitian ini digunakan beberapa sensor



Gambar 2. Diagram alir sistem kendali.

untuk mengukur dan membaca hasil pengukuran. Diantaranya adalah sensor suhu dan kelembaban SHT11, sensor karbondioksida CDM4160-H00, sensor oksigen KE-25. Dari ketiga sensor tersebut, sensor SHT11 dan CDM4160-H00 keduanya sudah terkalibrasi dari pabrikan, sementara sensor KE-25 belum terkalibrasi sehingga harus dilakukan pengkalibrasian sensor sebelum dilakukan pengukuran. Sensor oksigen KE-25 memiliki dua buah pin yaitu *red* and *black*. Sebelum dihubungkan dengan mikrokontroler, sensor KE-25 ini harus diberikan pengkondisi sinyal. Pengkondisian sinyal adalah *device* yang difungsikan untuk mengkondisikan sinyal keluaran dari sensor agar dapat dibaca oleh elemen pemrosesan sinyal. Karena keluaran dari sensor oksigen masih dalam skala mV, maka digunakan elemen pengkondisian sinyal berupa penguat sinyal tak membalik (*non-inverting OP-AMP*). *Non-inverting OP-AMP* dipilih untuk menguatkan tegangan keluaran sensor menjadi 0-5 Volt agar dapat dibaca oleh mikrokontroler. *Integrated Circuit (IC)* yang digunakan adalah tipe LM324N. Besarnya penguatan tegangan rangkaian penguat tak membalik (*non-inverting*) tergantung pada harga R_f dan R_{in} yang dipasang. Besarnya penguatan tegangan *output* dari rangkaian penguat *non-inverting* dapat dituliskan dalam persamaan matematis sebagai berikut:

$$A_v = \left(\frac{R_f}{R_{in}} \right) + 1 \quad (1)$$

Dari grafik sensitivitas sensor oksigen KE-25 (Figaro Company, 2005) dapat diketahui bahwa sensor KE-25 memiliki tegangan keluaran sebesar 60 mV. Untuk menguatkan tegangan menjadi 4.5 V maka digunakan resistor R_f sebesar 68 k Ω dan R_{in} sebesar 1 k Ω . Berdasarkan hal tersebut, maka penguatan tegangan (A_v) yang dibutuhkan adalah:

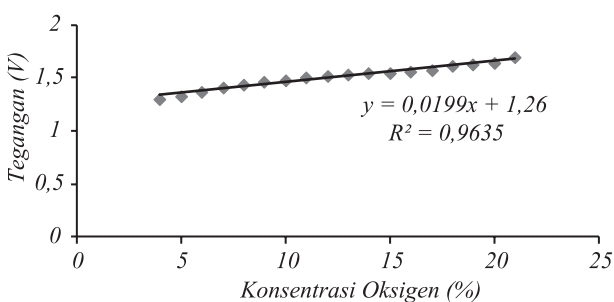
$$A_v = \left(\frac{R_f}{R_{in}} \right) + 1$$

$$A_v = \left(\frac{65.5 \text{ k}\Omega}{0.9 \text{ k}\Omega} \right) + 1$$

$$A_v = 73077 \text{ kali}$$

$$60 \text{ mV} \times 73.77 = 4426.2 \text{ mV} = 4.43 \text{ V}$$

Nilai penguatan yang dihasilkan yaitu 4.43V dimana nilai ini hampir mendekati nilai 4.5V yang terbaca pada voltmeter yang dihubungkan dengan



Gambar 3. Grafik kalibrasi sensor oksigen KE-25.

mikrokontroler. Hal ini dikarenakan nilai resistor yang ada di pasaran tidak sesuai dengan nilai resistor yang dibutuhkan oleh karena itu digunakan nilai resistor yang mendekati dengan nilai yang dibutuhkan.

Kalibrasi sensor KE-25 dilakukan dengan menggunakan alat pengukur konsentrasi gas oksigen (*gas analyzer*) merk *Shimadzu* tipe POT-101. *Gas analyzer* dan sensor KE-25 dihubungkan dengan toples, dimana akan dialirkan gas nitrogen sebesar 1 liter/menit untuk melihat dan mencatat perubahan yang terjadi. Data yang diperoleh digunakan untuk membentuk persamaan linier, untuk memperoleh hubungan kadar oksigen antara alat ukur dengan data tegangan (V) dari sensor sebagai persamaan kalibrasi. Persamaan linier kalibrasi tersebut akan dimasukkan kedalam pemrograman yang akan digunakan untuk mengkonversi nilai bacaan sensor berupa data persentase kadar oksigen yang terukur. Hasil kalibrasi menunjukkan hubungan yang linier dengan koefisien determinasi sebesar 0.9635.

Hasil Pengujian Kinerja Sistem Kontrol dan Monitoring

Pengujian ini dimaksudkan agar dapat diketahui perubahan oksigen, karbondioksida, suhu, serta kelembaban yang terjadi di dalam *chamber* setelah diinjeksikan gas dan untuk mengetahui apakah sistem sudah berjalan dengan baik. Pada pengujian ini dilakukan injeksi sebanyak 5 kali pada selang waktu tertentu. Injeksi pertama dilakukan dengan menginjeksikan gas karbondioksida dengan tujuan untuk menaikkan kadar karbondioksida yang semula $\pm 0.03\%$ menjadi $\pm 3\%$. Injeksi karbondioksida dilakukan selama 41 menit dengan bukaan *flowmeter* sebesar 2 liter/menit. Bersamaan dengan itu, dilakukan juga injeksi nitrogen untuk menurunkan kadar oksigen dari $\pm 21\%$ menjadi $\pm 4\%$ dengan bukaan *flowmeter* sebesar 10 liter/menit. Injeksi nitrogen berbeda dengan injeksi karbondioksida, dimana injeksi nitrogen tidak berdasarkan waktu tetapi berdasarkan persentase gas oksigen yang dijadikan sebagai *setpoint*. Apabila konsentrasi oksigen sudah mencapai $\pm 4\%$ maka *solenoid valve* akan menutup, begitupun sebaliknya apabila belum mencapai $\pm 4\%$ maka *solenoid valve* akan terus membuka hingga tercapai *setpoint* yang diinginkan. Perbedaan sistem injeksi ini dilakukan karena jika menggunakan waktu injeksi saja untuk keduanya atau menggunakan persentase kadar gas saja untuk keduanya maka akan sulit untuk mencapai *setpoint* yang diinginkan. Oleh karena itu, dilakukan kombinasi yakni untuk karbondioksida diinjeksi berdasarkan lama waktu injeksi dan untuk nitrogen diinjeksi berdasarkan konsentrasi gas oksigen yang terbaca oleh sensor. Kemudian untuk injeksi karbondioksida kedua, ketiga, keempat dan kelima dilakukan injeksi selama 5 menit dengan jeda waktu untuk setiap injeksi adalah 11 menit. Jeda waktu selama 11 menit ini dikarenakan

Tabel 1. *Mauchly's Test of Sphericity.*

	Mauchly's W	Signifikansi	Epsilon	
			Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt
Suhu (°C)	0.028	0.000	0.507	0.507
Kelembaban (%)	0.065	0.000	0.517	0.517
Oksigen (%)	0.981	0.333	0.981	0.998
Karbon-dioksida (%)	0.889	0.001	0.900	0.914

Tabel 2. *Test of Within Subjects Oksigen.*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Signifikansi
Sphericity Assumed	5.472	2.000	2.736	12.499	.000
Greenhouse-Geisser	5.472	1.962	2.789	12.499	.000
Huynh-Feldt	5.472	1.996	2.741	12.499	.000
Lower-bound	5.472	1.000	5.472	12.499	.001

Tabel 3. *Multivariate Tests.*

	Nilai signifikansi		
	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Karbon-dioksida (%)
Pillai's trace	0.000	0.000	0.392
Wilk's lambda	0.000	0.000	0.392
Hotelling's trace	0.000	0.000	0.392
Roy's largest root	0.000	0.000	0.392

menunggu kadar karbon-dioksida turun sebesar $\pm 1\%$ untuk dilakukan injeksi kembali. Sedangkan untuk menaikkan kadar karbon-dioksida $\pm 1\%$ dilakukan injeksi karbon-dioksida selama 5 menit.

Dari hasil pengujian untuk parameter suhu yang terukur di dalam *chamber* kosong didapatkan hasil seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

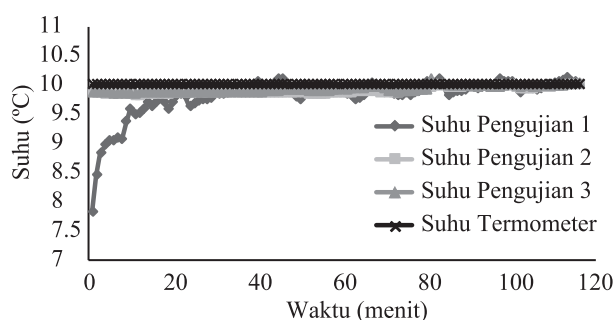
Untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan suhu setiap ulangan dilakukan melalui perhitungan *repeated ANOVA*. Sebelumnya diuji dahulu asumsi utama pada *repeated ANOVA* yaitu *sphericity* dan didapatkan hasil seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai signifikansi pada *Mauchly's test of sphericity* untuk suhu dan kelembaban adalah sebesar 0.000 dan untuk karbon-dioksida adalah 0.001, nilai tersebut lebih kecil dari α 0.05 sehingga dinyatakan bahwa pada data suhu dan kelembaban tidak memenuhi asumsi *sphericity*. Oleh karena itu digunakan koreksi menggunakan *multivariate tests* yang dapat dilihat pada Tabel 3. Tabel 1 juga menunjukkan bahwa nilai signifikansi pada *Mauchly's test of sphericity* untuk oksigen adalah sebesar 0.333 nilai ini lebih besar daripada α (0.05) sehingga dinyatakan bahwa pada data kadar oksigen tidak ada pengaruh yang signifikan atau dengan kata lain memenuhi asumsi *sphericity* sehingga akan dilanjutkan dengan *test of within subjects* untuk memperkuat hasil hipotesis yang ditampilkan pada Tabel 2.

Estimasi nilai *sphericity* untuk oksigen (Tabel 1) menunjukkan nilai sebesar 0.981 lebih besar daripada 0.75 maka koreksi yang digunakan

pada *test of within subjects* adalah epsilon *huynh-feldt*. Nilai signifikansi *huynh-feldt* pada Tabel 1 menunjukkan signifikansi sebesar $0.000 < \alpha$ (0.05). Ternyata setelah dievaluasi menggunakan nilai derajat kebebasan yang baru, terdapat perbedaan yang signifikan untuk data oksigen selama tiga kali pengujian. Untuk mengetahui lebih jelas letak perbedaannya, dilakukan uji lebih lanjut yaitu *pairwise comparison* yang ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan *test multivariate*, hasil pengujian yang digunakan adalah nilai signifikansi yang didapat. Dinyatakan terdapat perbedaan signifikansi pada ketiga kali pengujian apabila nilai signifikansi $< \alpha$ (0.05). Nilai signifikansi yang didapat untuk kesemua uji *multivariate* adalah sebesar 0.000 untuk suhu, 0.000 untuk kelembaban dan 0.392 untuk karbon-dioksida



Gambar 4. Perubahan suhu terhadap waktu penyimpanan.

Tabel 4. Hasil uji perbandingan beda suhu, kelembaban, oksigen dan karbondioksida selama tiga kali pengujian.

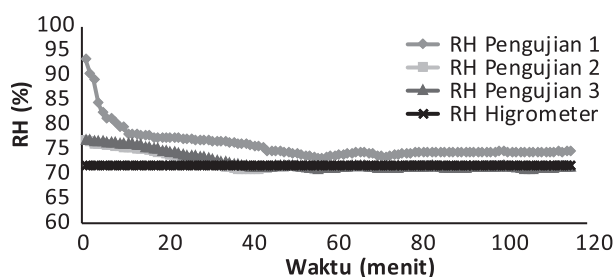
	Pengujian ke- (i)	Pengujian ke- (j)	N	Mean	Std. Dev	Signifikansi ^a
Suhu (°C)	1	2	116	9.8204	0.33163	0.008
	2	3	116	9.9114	0.05135	0.001
	3	1	116	9.9226	0.05484	0.002
Kelembaban (%)	1	2	116	76.0607	3.20480	0.000
	2	3	116	72.4920	1.64741	0.000
	3	1	116	72.6644	1.78114	0.000
Oksigen (%)	1	2	116	4.5750	2.61653	1.000
	2	3	116	4.5310	2.61987	0.000
	3	1	116	4.8163	2.62137	0.001
Karbondioksida (%)	1	2	116	2.2281	0.71719	1.000
	2	3	116	2.2159	0.71788	0.584
	3	1	116	2.2396	0.71582	1.000

yang mana nilai hasil uji *multivariate* untuk suhu dan kelembaban kurang dari alpha (0.05) sehingga dinyatakan bahwa terdapat perbedaan suhu, kelembaban yang signifikan pada ketiga kali pengujian. Sedangkan untuk karbondioksida nilai uji *multivariate* lebih dari alpha (0.05) maka untuk data karbondioksida tidak terdapat perbedaan yang signifikan untuk ketiga kali pengujian. Untuk mengetahui lebih detail kondisi perubahan suhu, kelembaban dan karbondioksida pada pengujian pertama hingga ketiga dilakukan uji lanjut *pairwise comparisons* yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 menunjukkan perubahan suhu pada pengujian pertama ke pengujian kedua terdapat perbedaan suhu yang signifikan yang dapat dilihat melalui nilai signifikansi sebesar $0.008 < \alpha (0.05)$. Sedangkan perbedaan suhu dari pengujian kedua ke pengujian ketiga didapatkan nilai signifikansi sebesar $0.001 < \alpha (0.05)$ dan nilai signifikansi pada pengujian pertama dan ketiga sebesar $0.002 < \alpha (0.05)$ sehingga secara keseluruhan dinyatakan bahwa terdapat perbedaan suhu yang signifikan antara pengujian pertama sampai pengujian ketiga. Perbedaan pembacaan suhu awal pada pengujian pertama terjadi karena adanya kesalahan atau *error* pada pengukuran. Kesalahan pengukuran ditinjau dari *output measurement* sebagai *systematic error* dan *random error* (Singh dan Karpe 2007). Selain itu, perubahan suhu pada *chamber* dipengaruhi oleh perubahan suhu pada *refrigerator*. Hal ini terkait dengan proses

pendinginan pada *refrigerator*. Menurut Suryana (2012), bila proses pendinginan *evaporator* berjalan baik, maka isi *refrigerator* semakin bertambah dingin. Apabila suhu *refrigerator* telah dingin dan suhu *cut-off* pengatur suhu telah tercapai maka kontakannya membuka dan arus listrik terputus (*off*) sehingga kompresor, kipas dan *timer motor* berhenti. Bila suhu *cut-on* tercapai maka kontakannya menutup dan kompresor, kipas dan *timer motor* bekerja kembali. Selain suhu, parameter yang dapat diukur dengan sensor SHT11 adalah kelembaban (*relative humidity*). Dari hasil pengujian kelembaban di dalam *chamber* didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 4 menunjukkan bahwa terdapat perubahan kelembaban yang signifikan dari pengujian pertama ke pengujian kedua maupun pengujian kedua hingga pengujian ketiga yang dapat dilihat melalui nilai signifikansi sebesar $0.000 < \alpha (0.05)$. Jenkins (2005) mengungkapkan udara yang hangat dapat menahan kelembaban lebih banyak daripada udara dingin, persentase RH berubah seiring dengan berubahnya suhu udara. Secara umum, jika suhu udara meningkat, maka RH akan meningkat begitupun sebaliknya. Untuk meningkatkan kelembaban pada ruangan atau *refrigerator* dapat menggunakan teknologi *evaporative cooler*, dimana hasil simulasi *computational fluid dynamic* yang dilakukan Anisum (2016) menunjukkan bahwa bangunan dengan *evaporative cooler* menggunakan air mampu menurunkan suhu udara dan meningkatkan kelembaban udara. Kemudian untuk menurunkan kelembaban relatif dapat dilakukan dengan menggunakan *absorbent dehumidifier* yaitu dengan melewati udara pada suatu *absorbent (dessicant)*, maka *dessicant* tersebut akan menyerap uap air yang dikandung udara sehingga uap air dalam udara tersebut akan berkurang (Muchammad 2006). Pengukuran kadar oksigen pada *chamber* dilakukan dengan menggunakan sensor KE-25. Dari hasil pengujian didapatkan hasil kadar oksigen selama tiga kali pengujian seperti pada Gambar 6.



Gambar 5. Perubahan RH terhadap waktu penyimpanan.

Tabel 5. Hasil pengujian dan perhitungan sistem monitoring suhu dan kelembaban.

	P	Q	Akurasi	Presisi	Error	SD
suhu	10 °C	9.88 °C	98.84%	1.47%	1.15%	0.14
kelembaban	72%	73.68%	97.71%	3.00%	2.33%	2.21

Keterangan: P: Aktual pengukuran menggunakan hygrometer dan termometer
 Q: Aktual pengujian sistem menggunakan sensor SHT11

Tabel 6. Hasil pengujian dan perhitungan sistem kontrol dan monitoring oksigen dan karbondioksida.

	S	R	Akurasi	Presisi	Error	SD
oksigen	4%	4.64%	86.19%	56.41%	16.02%	2.61
karbondioksida	3%	2.22%	74.26%	32.14%	25.73%	0.71

Keterangan: S: Setpoint
 R: Aktual pengujian sistem kontrol dan monitoring

Tabel 4 menunjukkan hasil uji *pairwise comparisons* dengan membandingkan setiap pengujiannya, dapat dipasangkan rata-rata data antara pengujian pertama hingga pengujian ketiga. Dapat dilihat dari Tabel 4 tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada pengujian pertama dan kedua dengan nilai signifikansi sebesar 1 lebih besar daripada alpha (0.05), sedangkan untuk pengujian kedua dan ketiga serta pengujian ketiga dan pengujian pertama terdapat perbedaan yang signifikan dengan nilai signifikansi masing-masing 0.000 dan 0.001 dimana kedua nilai tersebut lebih kecil daripada alpha (0.05). Rata-rata kadar oksigen tertinggi ada pada pengujian ketiga yaitu 4.81% sementara pengujian pertama 4.57% dan pengujian kedua 4.53%. Untuk menurunkan oksigen dibawah 4% sangat sulit untuk dilakukan karena sebelumnya udara di dalam *chamber* tidak di vakum lebih dahulu sehingga udara yang berada di dalam *chamber* adalah masih dalam komposisi udara normal.

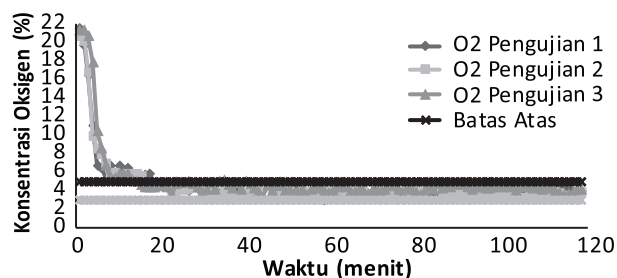
Parameter selanjutnya yang diukur menggunakan sensor adalah karbondioksida dengan menggunakan sensor CDM 4160-H00, hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 7.

Dari hasil uji *pairwise comparisons*, pengujian pertama dan pengujian kedua tidak terdapat perbedaan yang signifikan yang dapat dilihat melalui nilai signifikansi sebesar $1 > \alpha$ (0.05). Sedangkan untuk pengujian kedua dan ketiga juga tidak terdapat perbedaan yang signifikan dimana nilai signifikansinya adalah sebesar $0.584 > \alpha$ (0.05), begitupun pada pengujian ketiga dan pengujian pertama jika dibandingkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan, tercatat nilai signifikansi pengujian ketiga dan pengujian pertama adalah $1 > \alpha$ (0.05). Sehingga secara keseluruhan diketahui tidak terdapat beda signifikan kadar karbondioksida pada pengujian pertama hingga pengujian ketiga pengukuran. Injeksi gas karbondioksida dilakukan berdasarkan waktu agar karbondioksida yang diinjeksikan tidak melebihi *setpoint* yang diinginkan karena pada sistem ini tidak terdapat penyerap karbondioksida. Injeksi dilakukan

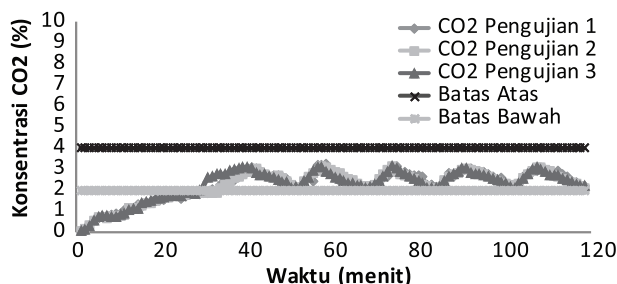
sebanyak 5 kali, injeksi pertama untuk menaikkan kadar karbondioksida dari $\pm 0.03\%$ menjadi $\pm 3\%$ dilakukan selama 41 menit. Setelah itu terdapat jeda 11 menit sebelum injeksi berikutnya yang bertujuan untuk menunggu hingga kadar karbondioksida turun sebanyak $\pm 1\%$. Injeksi kedua, ketiga, keempat hingga kelima, dilakukan selama masing-masing 5 menit untuk menaikkan kadar karbondioksida menjadi $\pm 1\%$. Untuk melakukan penyerapan terhadap kelebihan karbondioksida dapat dilakukan dengan menggunakan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Larutan kapur cukup memadai sebagai bahan penyerap karbondioksida karena diperkirakan kelebihan karbondioksida tidak terlalu besar dalam sistem CAS skala laboratorium (Sumardi 1999).

Hasil Uji Akurasi dan Presisi Kinerja Sistem Kontrol dan Monitoring

Dalam bidang ilmu pengetahuan, akurasi



Gambar 6. Perubahan konsentrasi oksigen terhadap waktu penyimpanan.



Gambar 7. Perubahan konsentrasi karbondioksida terhadap waktu penyimpanan.

dari suatu sistem pengukuran perlu dilakukan untuk mengetahui tingkat kedekatan pengukuran kuantitas terhadap nilai yang sebenarnya. Presisi digunakan untuk menunjukkan seberapa dekat perbedaan nilai pada saat dilakukan pengulangan pengukuran. Sedangkan akurasi adalah kesesuaian antara hasil suatu analisis dan nilai benar, karena nilai hasil analisis pada kenyataannya merupakan perkiraan nilai benar dengan memperhitungkan nilai ketidakpastiannya.

Berdasarkan hasil pengujian sistem monitoring suhu dengan nilai termometer 10°C diperoleh hasil pengujian yaitu rata-rata suhu sebesar 9.88°C. Perbandingan suhu antara alat ukur termometer dan aktual berdasarkan perhitungan diperoleh akurasi sebesar 98.84%. Sedangkan nilai presisi suhu adalah 1.47%. Validasi alat dilakukan untuk mencari nilai penyimpangan (*error*) yang terjadi pada sistem yang dibuat. Adapun rata-rata nilai *error* untuk suhu adalah 1.15%. Hasil pengujian sistem monitoring kelembaban dengan nilai RH pada higrometer adalah 72% diperoleh hasil pengujian rata-rata RH adalah 73.68%. Perbandingan RH antara higrometer dengan aktual berdasarkan perhitungan diperoleh akurasi 97.71%. Sedangkan nilai presisi RH adalah 3% dengan rata-rata *error* RH yaitu 2.33%.

Berdasarkan hasil pengujian sistem kontrol dan monitoring gas oksigen dengan perlakuan *setpoint* konsentrasi oksigen 4% diperoleh hasil pengujian yaitu rata-rata konsentrasi oksigen 4.64%. Perbandingan konsentrasi oksigen antara *setpoint* dengan aktual berdasarkan perhitungan diperoleh nilai akurasi sebesar 86.19%. Akurasi hasil perintah *setpoint* yang diberikan pada mikrokontroler dapat diketahui dengan melakukan validasi, menghitung nilai *error* dan tingkat ketelitian untuk *setpoint* yang digunakan pada mikrokontroler terhadap hasil *real* pengukuran dan perhitungan. Adapun nilai rata-rata *error* adalah 16.02%. Hasil pengujian sistem kontrol dan monitoring gas karbondioksida dengan perlakuan *setpoint* konsentrasi karbondioksida 3% diperoleh hasil pengujian yaitu rata-rata konsentrasi karbondioksida 2.22%. Perbandingan konsentrasi karbondioksida antara *setpoint* dengan aktual berdasarkan perhitungan diperoleh nilai akurasi sebesar 74.26%. Adapun nilai rata-rata *error* adalah 25.73%. Besarnya nilai *error* dapat disebabkan oleh metode pengontrolan yang kurang baik sehingga menyebabkan terjadinya ketidaksamaan antara *setpoint* dengan nilai aktual pengujian.

Simpulan

Sistem monitoring gas karbondioksida dan oksigen telah dapat dibentuk dan dilakukan uji coba. Hasil rancangan tersebut dapat digunakan untuk

mengendalikan kondisi gas yang ada di dalam ruang penyimpanan. Suhu rata-rata yang terbaca oleh sensor SHT11 adalah 9.88°C, kelembaban rata-rata yang terbaca oleh sensor SHT11 yaitu 73.73%, konsentrasi karbondioksida rata-rata yang terbaca oleh sensor adalah 2.22%, dan konsentrasi oksigen yang terbaca oleh sensor adalah 4.63%. Rata-rata nilai *error* pengujian untuk suhu adalah 1.15%, rata-rata nilai *error* pengujian untuk RH adalah 2.33%, rata-rata nilai *error* pengujian untuk konsentrasi oksigen adalah 16.02% dan rata-rata nilai *error* pengujian untuk konsentrasi karbondioksida adalah 25.73%.

Daftar Pustaka

- Agustiningrum, D. A., B. Susilo, R. Yulianingsih. 2014. Studi Pengaruh Konsentrasi Oksigen pada Penyimpanan Atmosfer Termodifikasi Buah Sawo (*Achras zapota* L.). *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*. 2(1): 22-34.
- Anisum, N. Bintoro, S. Goenadi. 2016. Analisis Distribusi Suhu dan Kelembaban Udara dalam Rumah Jamur (Kumbung) Menggunakan Computational fluid Dynamics. *Journal Agritech*, 36(1): 64-70.
- Argo, B.D., A. Lastriyanto, P. Astuti. 2008. Sistem Monitoring Gas Oksigen dan Karbondioksida. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 1(3): 84-90.
- Figaro Company. 2005. Technical Information for KE-Series. pp.1-10.
- Jenkins, M. 2005. Unit 4: Temperature-Moisture Relationship Course Materials. Wildland Resources. Utah State University. <http://www.ocw.usu.edu/> Accessed on: January 12th 2017.
- Muchammad. 2006. Pengaruh Temperatur Regenerasi Terhadap Penurunan Kelembaban Relatif dan Efektifitas Penyerapan Uap Air pada Alat Uji Dehumidifier dengan Dessicant Silica Gel. *Journal Momentum*, 2 (2): 32-40.
- Robinson dan Eskin. 2001. *Food Shelf Life Stability*. New York : CRC Press.
- Singh, H. dan N. Karpe. 2007. Effect of Measurement Errors on A Class of Estimators of Population Mean Using Auxiliary Information in Sample Surveys. *Journal of Statistical Research of Iran*. 4.: 175-189.
- Suaib. 2011. Analisis varian bagi pengukuran berulang. *Jurnal Agroteknos*. 1(2): 107-113.
- Sumardi. 1999. Pengembangan Model Penyimpanan Buah Tropika dalam Atmosfir Terkendali (CA): Kasus Durian [Disertasi]. Program Pascasarjana, IPB.
- Suryana, C. 2012. Trainer Dispenser Hot and Cool Unit [Laporan penelitian]. Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.