

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

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

Vol. 5, No.2, Agustus 2017



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. Mulai edisi ini redaksi memandang perlu untuk meningkatkan nomor penerbitan dari dua menjadi tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap nomornya. Hal 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. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: 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. 5 No. 2 Agustus 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Prof. Dr. Ir. Kamaruddin Abdullah, IPU. (Fakultas Teknologi Kelautan, Universitas Darma Persada), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Edward Saleh, MS (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Dr. Ir. Yandra Arkeman, M.Eng (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. Agus Buono, MSi, MKom (Departemen Ilmu Komputer, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ery Suhartanto, ST.,MT (Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya), Prof.Dr.Ir.Hj. Nurpilihan Bafdal, MSc (Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran), Dr.Ir. Satyanto Krido Saptomo, STP.,M. Si (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Yohanes Aris Purwanto, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro Eko Nugroho, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Asri Widyasanti, STP.,M.Eng (Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Daniel Saputra, MS (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. I Made Anom Sutrisna Wijaya, M.App., Sc., Ph.D. (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Udayana), Dr.Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Kurniawan Yuniarto, STP.,MP (Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri Universitas Mataram), Dr.Ir. Sugiarto, MSi (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold Oscar Nelwan, MSi (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Analisis Sistem Aerasi pada Penyimpanan Gabah dalam Silo Menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Analysis of Aeration System on Paddy Storage in Silos Using Computational Fluid Dynamics (CFD)

Reniana, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Papua.

Email: ana_iner@yahoo.com

Nursigit Bintoro, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada.

Email:nursigitb@yahoo.com

Joko Nugroho, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada.

Email: jkn@ugm.ac.id

Abstract

Grains cooling by aeration system usually reduces the rate of insects and fungi population growth and preserves grain quality. An aeration system may perform inefficiently if the grain moisture or temperatures exceeds the safe thresholds. Good design of aeration systems is essential for efficient cooling. In this study, Computational Fluid Dynamics (CFD) approach was used to describe the performance of the aeration system on paddy storage in the silos. CFD is a computer software program to predict and quantitatively analyze fluid flow, heat transfer, transport phenomena, and chemical reactions in a system with one or more boundary condition. CFD analysis result can be used to represent the aeration system on paddy storage in the silos with a fairly high-level validation. The average value of error during four hours aeration is ranges from 3.6% - 5.47%. The statistically result showed that tend to be not significantly different between the measurement results and CFD analysis.

Keywords: *CFD, aeration, cooling, silos, paddy*

Abstrak

Pendinginan biji-bijian dengan aerasi digunakan untuk mengurangi laju pertumbuhan populasi serangga dan jamur serta mempertahankan kualitas bijian. Sebuah sistem aerasi dapat tidak efisien jika kelembaban bijian atau suhu melebihi batas aman. Desain yang baik pada sistem aerasi merupakan hal yang sangat dasar untuk efisiensi pendinginan. Pada penelitian ini, dilakukan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk menggambarkan performansi sistem aerasi pada penyimpanan gabah didalam silo. CFD merupakan program perangkat lunak komputer untuk memprediksi dan menganalisis secara kuantitatif aliran fluida, perpindahan panas, transpor penomena dan reaksi kimia pada suatu sistem dengan satu atau lebih kondisi batas. Hasil penelitian menunjukkan analisis CFD dapat merepresentasikan sistem aerasi pada penyimpanan gabah dalam silo dengan tingkat validasi yang cukup tinggi. Rata-rata nilai *error* selama empat jam aerasi berkisar 3.6 % - 5.47 %. Secara statistik menunjukkan hasil yang cenderung tidak berbeda nyata antara hasil pengukuran dengan analisis CFD.

Kata kunci: CFD, aerasi, pendinginan, silo, gabah

Diterima: 26 Agustus 2016; Disetujui: 15 Agustus 2017

Pendahuluan

Salah satu teknik penyimpanan curah modern yang sudah diterapkan di negara-negara maju di dunia adalah penyimpanan gabah di dalam silo. Menurut Hung, *et al.*, (2009), untuk menjaga kualitas biji-bijian selama penyimpanan jangka panjang, populasi serangga dan jamur harus

dikontrol. Pendinginan biji-bijian dengan aerasi digunakan untuk mengurangi laju pertumbuhan populasi serangga dan jamur dan mempertahankan kualitas bijian. Aerasi, adalah gerakan paksa udara lingkungan melalui biji-bijian curah, dilakukan untuk memelihara atau meningkatkan kondisi-kondisi fisik dari produk (Lopes, *et al.*, 2008). Di negara-negara tropis khususnya di negara-negara Asia

seperti Thailand, Vietnam, Indonesia dan Malaysia, tingginya suhu lingkungan dan kelembaban mengurangi kinerja sistem aerasi dan memperburuk biji-bijian karena respirasi dan pertumbuhan jamur (Hung, et al., 2009). Menurut Lopes, et al., (2008), sebuah sistem aerasi dapat tidak efisien jika kelembaban bijian atau suhu melebihi batas aman. Lebih lanjut ditegaskan bahwa, kombinasi sesuai parameter kontrol tergantung pada desain sistem aerasi dan pada kondisi cuaca daerah di mana itu digunakan. Menurut Bintoro, (2008), suatu alat pendingin bijian perlu digunakan apabila suhu lingkungan rata-rata berada di atas 24 – 37 °C.

Dari uraian di atas akan besar manfaatnya apabila diterapkan sistem aerasi untuk penyimpanan curah biji-bijian. Driscoll dan Srzednicki (1998) dalam Bintoro (2008), menegaskan bahwa salah satu kondisi yang paling esensial untuk penerapan aerasi adalah penggunaan cara penanganan biji-bijian secara curah (*bulk handling*). Namun kenyataannya perancangan dalam penyimpanan dengan menerapkan sistem aerasi masih menemui banyak kendala. Menurut Khatchatourian dan Savicki (2004), hambatan terbesar untuk aliran udara dalam sistem aerasi disebabkan oleh massa butiran, resistensi ini tergantung pada parameter aliran udara, karakteristik permukaan produk (berkerut), pada bentuk dan ukuran dari setiap kotoran asing dalam massa, pada konfigurasi, dan pada ukuran ruang intersisi di massa, pada ukuran dan jumlah butir patah dan pada kedalaman produk lapisan. Proctor, (1994) menambahkan bahwa desain yang baik pada sistem aerasi merupakan hal yang sangat dasar untuk efisiensi pendinginan, dimana penempatan saluran dan ukuran harus memadai agar penyebaran aliran udara dingin mengenai seluruh bijian. Dari hal tersebut maka diperlukan suatu *tools* atau metode yang dapat membuat virtual/menggambarkan *prototype* dari sebuah sistem atau alat yang ingin dianalisis dengan menerapkan kondisi lapangan. Pada penelitian ini, analisis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) digunakan untuk menggambarkan sistem aerasi pada penyimpanan gabah didalam silo. CFD dapat memprediksi aliran berdasarkan model matematika melalui persamaan diferensial parsial dan metode numerik yang diselesaikan dengan program perangkat lunak komputer. CFD adalah alat untuk memprediksi apa yang akan terjadi pada alat atau sistem dengan satu atau lebih kondisi batas (Tuakia, 2008). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis distribusi suhu udara aerasi pada sistem aerasi penyimpanan gabah dalam silo menggunakan CFD, serta melakukan validasi antara hasil pengukuran dengan hasil analisis CFD.

Bahan dan Metode

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini

adalah 700 kg gabah kering varietas IR-64 dengan kadar air 12.7 % yang diperoleh dari petani di wilayah kecamatan Depok Sleman Yogyakarta.

Alat

Peralatan yang digunakan meliputi satu unit silo dengan kapasitas 300 kg gabah yang terbuat dari plat besi 1 mm dengan diameter 0.75 meter dan tinggi 3 meter, satu unit kotak udara dingin dengan ukuran panjang 1.80 meter, lebar 1.80 meter dan tinggi 2.40 meter dilengkapi pendingin ruangan *Air Conditioner* Panasonic model CU-PC5GKJ 220V ½ PK, *thermometer digital 4 channel* merk Lutron dengan sensor termokopel digunakan untuk mengukur suhu, *hot wire anemometer digital* AM 4204 merk Lutron digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara, *blower 2 inch* 150 watt digunakan untuk menghembuskan udara aerasi ke dalam silo, seperangkat laptop dengan perangkat lunak *gambit 2.3.16* dan *Ansys Fluent 12.0* digunakan untuk analisis CFD.

Diskripsi Bangunan Silo

Gabah merupakan komoditas bijian curah (*bulk grain*) yang mempunyai sifat akan kembali menyerap atau mengeluarkan uap air karena pengaruh udara di sekitarnya. Dalam penyimpanan, kadar air akhir gabah tergantung pada suhu dan kelembaban relatif dari udara di sekitar. Gabah akan terus menyerap ataupun mengeluarkan uap air hingga mencapai keseimbangan dengan lingkungannya. Kadar air akhir ini dalam penyimpanan disebut "kadar air setimbang" atau EMC (*Equilibrium Moisture Content*). Menurut Hung, et al., (2008) perbedaan suhu antara massa biji-bijian dan udara sekitar menyebabkan perpindahan kelembaban biji-bijian dari suhu tinggi ke zona suhu rendah oleh konveksi alami. Sawant, et al., (2012) melaporkan pada penyimpanan gandum dalam silo dengan perbedaan kelembaban udara lebih rendah 16.1 % dari udara sekitar, kadar air meningkat dari 11.2 % menjadi 17.19 % setelah 8 bulan penyimpanan. Kondisi tersebut menurunkan daya kecambah dari 86.7 % menjadi 78.6 %. Sedangkan Jian, et al., (2009), mengemukakan ada fluktuasi temperatur yang lebih besar dalam *headspace*/ruang dalam silo di atas permukaan bijian daripada di dalam massa butiran dan ada perpindahan kelembaban di dalam silo. Di mana kelembaban dalam massa butiran berubah kurang daripada permukaan massa butiran. Dari penjelasan tersebut maka sangat besar manfaatnya untuk dilakukan aerasi pada penyimpanan gabah dalam silo dengan udara dingin dan analisis sistem pada proses aerasi terutama untuk melihat keseragaman suhu udara didalam silo.

Skema peralatan penyimpanan gabah dalam silo dengan aerasi udara dingin seperti pada Gambar 1. Kotak udara dingin dilapisi sterofoam sebagai peredam udara dingin dan dipasang seperangkat

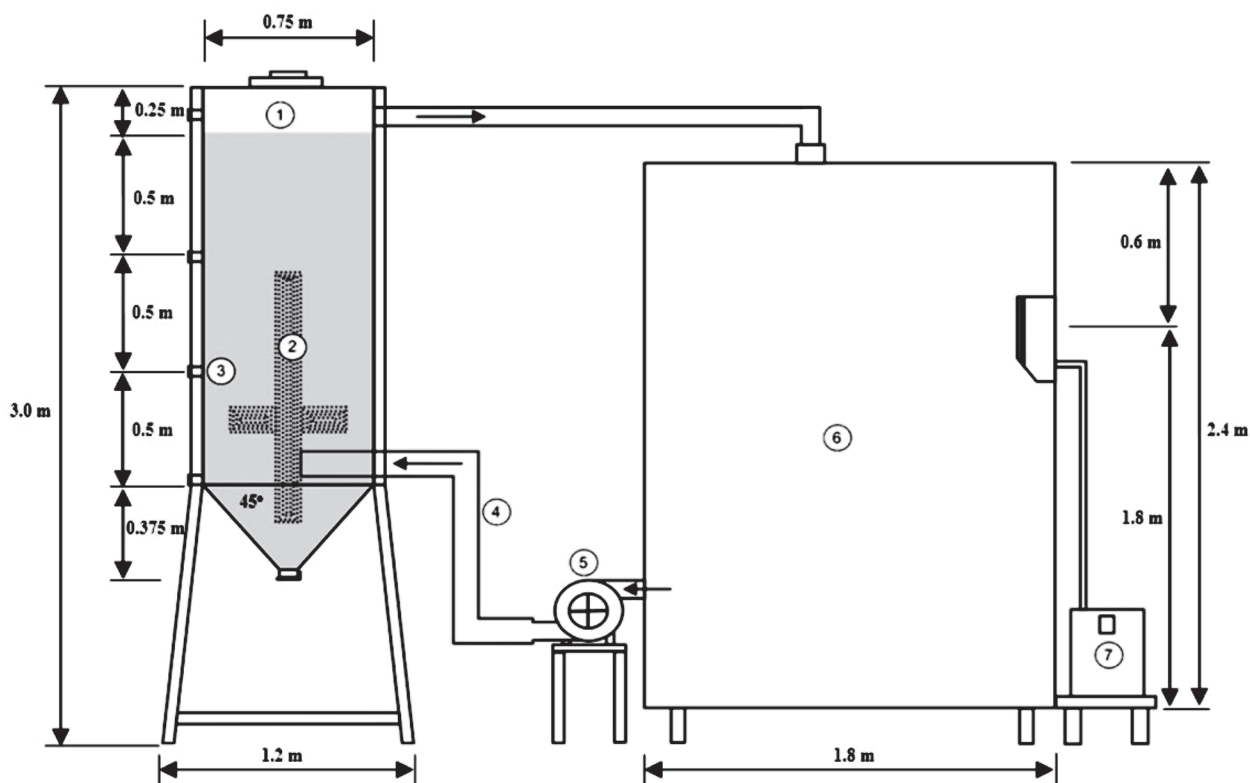
unit pendingin ruangan (AC) sebagai sumber udara dingin aerasi. Untuk menghisap udara dari kotak udara dingin, dipasang *blower* yang dihubungkan dengan pipa peralon 4 *inch* sebagai penyalur udara aerasi ke dalam aerator (silo). Aerator dibuat dari kawat ram berdiameter lubang 1 mm untuk mencegah gabah masuk ke dalam aerator. Aerator dipasang pada bagian tengah silo dengan tujuan hembusan udara aerasi dimulai dari bagian tengah silo dan menyebar ke bagian sisi atau pinggir silo. Aerator dibuat empat cabang pada bagian tengah diatas saluran udara masuk. Tujuan dibuat percabangan adalah untuk memaksimalkan penyebaran udara aerasi dari bagian tengah ke bagian pinggir silo.

Prinsip kerja sistem aerasi dengan udara dingin yaitu udara dingin di dalam kotak evaporator yang berasal dari sumber pendingin (AC) dihisap oleh *blower* dan disalurkan ke dalam aerator melalui pipa penyalur udara. Dari aerator, udara dingin menyebar di antara massa gabah menuju bagian pinggir silo dan mengalir kebagian atas menuju saluran keluaran, udara dingin yang melewati massa gabah diharapkan dapat mendinginkan gabah secara konveksi oleh suhu udara aerasi. Sedangkan udara panas dari gabah akan terbawa oleh udara aerasi mengalir menuju saluran keluaran menuju kotak evaporator melalui pipa penyalur udara yang kemudian akan didinginkan kembali oleh unit pendingin. Proses ini akan berlangsung terus selama aerasi dilakukan.

Analisis CFD

Analisis CFD dilakukan untuk mengetahui distribusi suhu pada sistem aerasi penyimpanan gabah dalam silo. CFD merupakan program perangkat lunak komputer untuk memprediksi dan menganalisis secara kuantitatif aliran fluida, perpindahan panas, transpor penomena dan reaksi kimia. Analisis aliran fluida dalam suatu sistem dengan CFD merupakan analisis numerik dengan kontrol volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan, yang terdiri dari persamaan kesetimbangan massa, momentum dan energi (Versteeg and Malalasekera, 1995).

Pada prinsipnya ada tiga langkah dalam analisis CFD yaitu *preprocessor*, *processor*, dan *postprocessor*. *Preprocessor* adalah tahap yang diawali dengan proses pembuatan geometri, proses *meshing* atau *grid* dan pemberian kondisi batas. Proses *meshing* terbagi menjadi tiga tahap yaitu *meshing* garis, permukaan dan terakhir *meshing* volume. *Meshing* garis menggunakan kondisi *default*, untuk *meshing* permukaan menggunakan element *Tri* dengan tipe *pave*, sedangkan pada *meshing* volume menggunakan element *Tet/Hybrid* dengan tipe *Tgrid*. Semua *meshing* dilakukan dengan menggunakan nilai *internal size* 2. Total volume yang diperoleh adalah 0.834927 m³, yang terbagi menjadi 197768 *nodes*, 1451629 *faces* dan 717761 *cell*. Proses perhitungan dalam simulasi CFD yaitu dengan mendefinisikan *solver*, material dan kondisi batas. Pengaturan *solver* tipe



Gambar 1. Bagan skematik peralatan penelitian silo dengan aerasi udara dingin 1. Struktur silo, 2. Aerator (saluran distribusi udara), 3. Tempat pengukuran dan pengambilan sampel, 4. Pipa penyalur udara, 5. *Blower*, 6. Kotak evaporator (kotak udara dingin), 7. Unit pendingin (*Air Conditioner*).

Tabel 1. Penambahan material dalam analisis CFD

Nama material	Tipe	Parameter	Nilai
Gabah	<i>solid</i>	<i>Bulk density</i> (kg/m ³)	571
		Panas jenis (J/kg.K)	1269
		Konduktivitas panas (W/m.K)	0.113
		Diameter rata-rata (mm)	3.4
		Porositas (%)	48
Besi	<i>solid</i>	Massa jenis (kg/m ³)	7870
		Panas jenis (J/kg.K)	477
		Konduktivitas panas (W/m.K)	80.2

Tabel 2. Kondisi batas (*boundary condition*) yang digunakan dalam analisis CFD.

Zona	Tipe	Parameter	Nilai
<i>Inlet</i>	<i>Fluid</i>	Suhu (°C)	
		Simulasi 1	19.1
		Simulasi 2	18.6
		Simulasi 3	18.4
		Simulasi 4	18.4
		Laju udara (m/s)	2.2
		Intensitas turbulensi (%)	4.81
		Diameter Hidrolik (m)	0.1016
<i>Pressure outlet</i>	<i>Fluid</i>	Intensitas turbulensi (%)	4.47
		Diameter Hidrolik (m)	0.0508
Aerator	<i>Porous jump</i>	<i>Face permeability</i> (m ²)	4.86 x 10 ⁻⁷
		<i>Pressure-jump coefficient</i> (1/m)	480.1097394
Zona gabah	<i>Fluid; porous zone</i>	<i>Viscous resistance coefficients</i> (1/m ²)	31726078.91
		<i>Inertial resistance coefficients</i> (1/m)	4840.260757
		Porositas (%)	48
Zona udara	<i>Fluid</i>	<i>default</i>	-
Dinding	<i>Wall</i>	Suhu (°C)	
		Simulasi 1	27.1
		Simulasi 2	25.6
		Simulasi 3	24.3
		Simulasi 4	23.7

pressure-based, velocity formula absolute, dan time steady. Model yang dipilih yaitu model *k-epsilon*. Material fluida adalah udara dengan sifat material menggunakan *data base* Fluent 12.0. Penambahan sifat material *solid* dari gabah dan besi berupa konduktivitas panas (*k*), massa jenis (ρ) dan panas spesifik (*Cp*). Kondisi batas yang digunakan meliputi *velocity inlet, pressure outlet, porous jump, porous zone, dan wall*. *Velocity inlet* adalah kondisi batas untuk mendefinisikan kecepatan aliran udara dan suhu udara aerasi. *Pressure outlet* digunakan untuk mendefinisikan output atau keluaran dari fluida yang keluar dari proses. *Porous jump* digunakan untuk mendefinisikan aerator berlubang. *Porous zone* adalah kondisi batas untuk mendefinisikan

gabah sebagai volume media berpori yang dapat dilalui udara. Sedangkan *wall* merupakan kondisi batas untuk mendefinisikan dinding silo.

Pada tahap *processor*, dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara *iteratif*. Penghitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Penghitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan diskrit. Kriteria konvergensi menggunakan nilai 0.001 untuk semua persamaan *residual* dan 10⁻⁶ pada persamaan energi. Tahapan selanjutnya adalah *postprocessor* di mana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik, bahkan

Tabel 3. Posisi titik pengukuran suhu.

Titik Pengukuran	Koordinat			Titik Pengukuran	Koordinat		
	x	y	x		x	y	x
1	55	45	0	12	0	92.5	-8.5
2	0	42.5	-19.5	13	0	142.5	-17.5
3	0	42.5	-32.5	14	0	142.5	-8.5
4	0	42.5	-8.5	15	0	142.5	-32.5
5	0	42.5	29.5	16	0	117.5	29.5
6	0	92.5	-19.5	17	0	142.5	17.5
7	0	92.5	-32.5	18	0	142.5	3.5
8	0	92.5	-2	19	0	142.5	-24.5
9	0	92.5	24.5	20	0	117.5	-19.5
10	0	92.5	29.5	21	29	190.5	0
11	0	92.5	17.5				

animasi dengan pola-pola warna tertentu. Dari tahap ini, data kuantitatif suhu diambil pada posisi koordinat yang sesuai dengan pengukuran di lapangan. Simulasi CFD dilakukan empat kali yaitu simulasi 1, 2, 3, dan 4 yang mewakili masing-masing jam aerasi. Kondisi ini digunakan karena suhu udara masuk kedalam silo selama proses aerasi tidak stabil sehingga kondisi setiap jam aerasi digunakan untuk simulasi CFD, dengan harapan masing-masing simulasi dapat mewakili setiap jam eksperimen dilapangan.

Validasi

Sebanyak 21 data suhu hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil analisis CFD. Posisi titik pengukuran diletakkan dengan koordinat x, y, dan z didalam silo. Pusat koordinat (0,0,0) berada pada posisi bagian tengah diameter dan bagian terendah dinding silo (pengeluaran bahan). Data suhu yang divalidasi adalah suhu setiap jam selama empat jam pemberian aerasi yang dibandingkan dengan suhu hasil simulasi CFD 1, 2, 3, dan 4. Besarnya penyimpangan atau nilai *error* dicari dengan persamaan :

$$\bar{Error} = [ABS] \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{ukur_i} - T_{CFD_i}}{T_{ukur_i}} \right) \times 100 \% \quad (1)$$

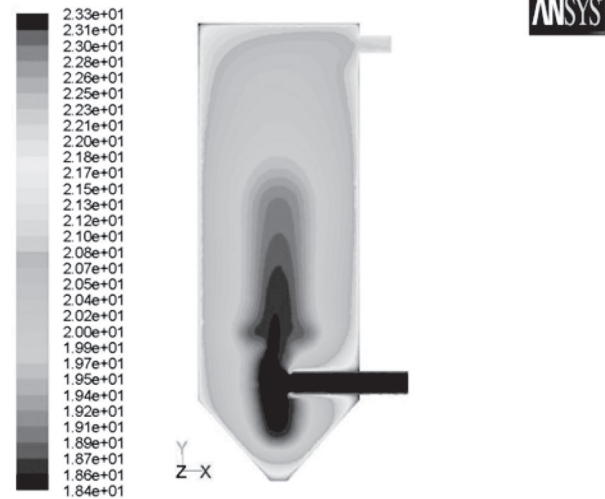
Absolute (ABS) merupakan nilai mutlak dari bilangan atau angka tanpa memperhitungkan tanda negatif (-). Selanjutnya untuk melihat kesamaan data hasil pengukuran dengan analisis CFD dilakukan uji statistik dengan metode *paired sample t-test* pada tingkat kepercayaan 95%.

Hasil dan Pembahasan

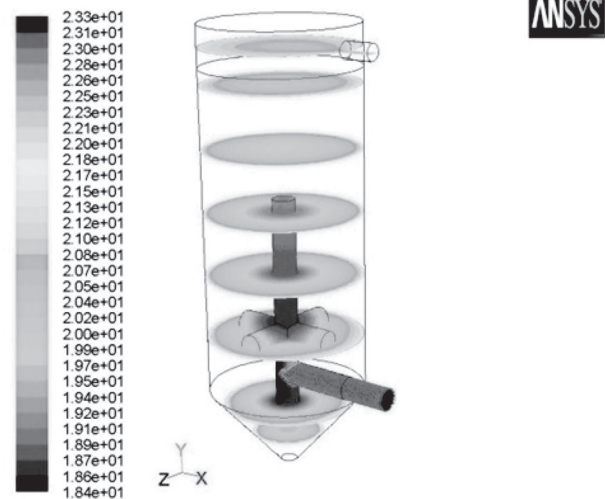
Distribusi Suhu Udara dalam Silo

Aerasi dilakukan selama empat jam menggunakan kecepatan aliran udara yang masuk ke dalam silo 2.2 m/s dengan suhu udara aerasi 18.4

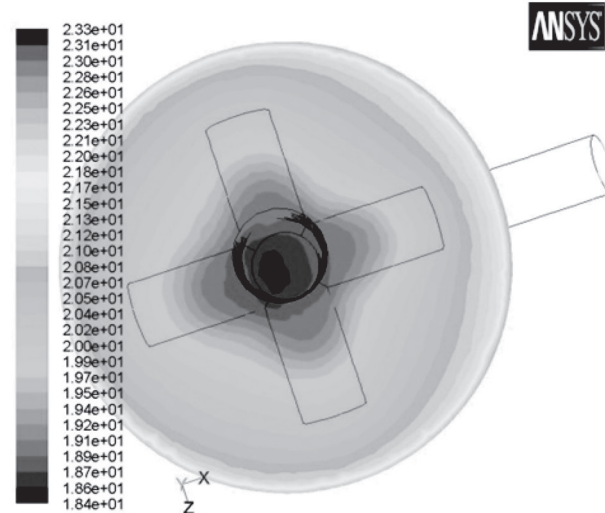
°C – 19.1 °C pada koordinat (55,45,0). Berdasarkan hasil pengukuran, diperoleh rata-rata suhu udara didalam silo selama pemberian aerasi 1, 2, 3, dan 4 jam berturut-turut yaitu 22.01 °C berkisar 20.2 – 24.5 °C, 20.84 berkisar 19.3 – 23.7 °C, 20.67 °C berkisar 19.3 – 23.1 °C, dan 20.14 °C berkisar 18.9 – 22.4 °C. Hasil uji statistik, menunjukkan distribusi suhu udara didalam silo tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari posisi pengukuran bagian bawah, tengah dan atas silo dengan rata-rata standart deviasi 1.57 °C. Hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan memberikan empat jam aerasi, distribusi atau penyebaran suhu udara didalam silo merata dari bagian bawah, tengah dan atas silo. Menurut Khatchatourian dan Savicki (2004), hambatan terbesar untuk aliran udara dalam sistem aerasi disebabkan oleh massa butiran, dimana resistensi ini tergantung pada parameter aliran udara, karakteristik permukaan produk (berkerut), bentuk dan ukuran dari setiap kotoran asing dalam massa, konfigurasi, dan ukuran ruang intersisi dalam massa, ukuran dan jumlah butir patah serta kedalaman produk lapisan. Untuk tujuan penyimpanan gabah jangka panjang, kondisi tersebut dapat aplikasikan khususnya di Indonesia mengingat suhu lingkungan yang cukup tinggi. Selain itu, pengaplikasian suhu aerasi udara dingin pada penyimpanan biji-bijian atau gabah akan memberikan pengaruh terhadap bahan yang disimpan karena suhu merupakan salah satu faktor yang sangat berperan dalam penyimpanan. Hasil penelitian Lazzari, *et al.*, (2006) dengan memberikan aerasi udara dingin pada gabah yang di simpan dalam silo sampai suhu rata-rata gabah 15 °C dapat mengurangi serangga sebesar 76.8 % dan perlakuan ini juga dapat mempertahankan daya perkecambahannya. Chidanand dan Shanmugasundaram, (2016) melaporkan dengan menyimpan gabah dalam silo tanpa aerasi selama 6 bulan, suhu udara didalam silo turun dari 36.41 °C menjadi 28.23 °C karena pengaruh suhu



Contours of Static Temperature (c)



Contours of Static Temperature (c)



Contours of Static Temperature (c)

Gambar 2. Kontur suhu hasil analisis CFD.

lingkungan dan daya kecambahnya turun dari 77% menjadi 72%. Namun kondisi tersebut cenderung mempertahankan persentase beras kepala dan menurunkan persentase beras pecah. Bhardwaj dan Sharma, (2015) juga melaporkan dengan menyimpan gabah dalam silo tanpa pemberian aerasi selama 10 bulan, terjadi penurunan daya kecambah biji dari 70.6% menjadi 52.3% dan meningkatkan persentase serangan serangga dari 4.7 menjadi 18.8%.

Hasil Analisis CFD

Berdasarkan hasil simulasi 1, 2, 3, dan 4 diperoleh rata-rata dan rentang suhu di dalam silo berturut-turut yaitu 21.10 °C berkisar 19.49 – 22.31 °C, 20.49 °C berkisar 18.91 – 21.65 °C, 20.07 °C berkisar 18.69 – 21.07 °C dan 19.97 °C berkisar 18.67 – 20.92 °C. Al kindi, et al., (2015) melaporkan hasil analisis CFD pada alat pengering tipe rak, dengan penggunaan kecepatan aliran udara pengering 6 dan 4.8 m/s pada suhu 230.67 dan 206.92 °C diperoleh rata-rata suhu udara pada rak sebesar 79.78 °C yang berkisar 75.62 – 85.9 °C dan 83.98 °C yang berkisar 78.8 – 89.72 °C. Gambar 2. dan 3. menunjukkan kontur suhu dan vektor kecepatan udara hasil analisis CFD. Dari gambar tersebut terlihat bahwa proses aerasi dimulai dari bagian tengah silo ke bagian pinggir dan menuju ke saluran keluaran bagian atas. Proses ini menyebabkan turunnya suhu udara didalam silo karena suhu udara aerasi yang digunakan lebih rendah dari suhu awal didalam silo. Untuk tujuan pendinginan, kondisi inilah yang diharapkan karena dapat mendinginkan bahan yang ada didalam silo.

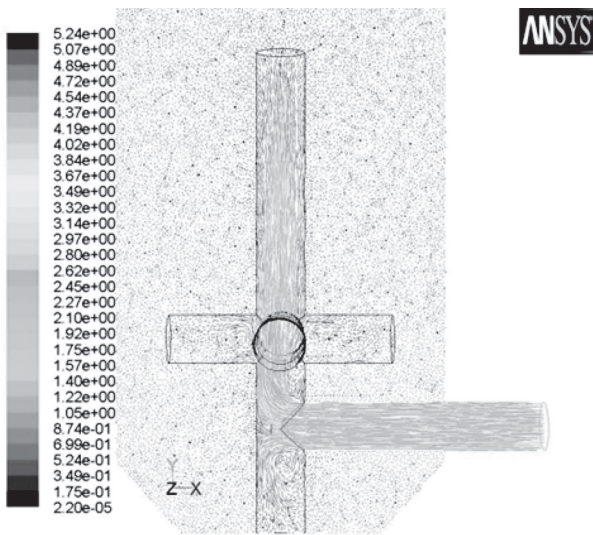
Pergerakan aliran udara yang tampak pada Gambar 3. menunjukkan pendefinisian gabah sebagai media berpori (*porous zone*) dan *porous jump* dari aerator dimana aliran udara dapat melewatinya dan menyebar keseluruhan bagian dalam silo. Sama halnya pada kondisi pengukuran, udara aerasi menembus kawat ram dari aerator menyebar keseluruhan bagian silo melalui ruang kosong (porositas) antar bijian gabah. Dari gambar kontur suhu terlihat distribusi suhu udara belum sepenuhnya optimal diseluruh bagian silo. Tampak dalam skala warna suhu udara dibagian pinggir lebih tinggi bila dibandingkan dengan bagian tengah. Kondisi serupa juga terjadi pada hasil pengukuran dilapangan. Untuk meningkatkan performansi dari sistem aerasi guna menyeragamkan suhu udara didalam silo dapat dilakukan simulasi analisis CFD dengan membuat model aerator lain sehingga diharapkan keseragaman suhu udara didalam silo optimal. Menurut Proctor, (1994) desain yang baik pada sistem aerasi merupakan hal yang sangat dasar untuk efisiensi pendinginan, dimana penempatan saluran dan ukuran harus memadai agar penyebaran aliran udara dingin mengenai seluruh bijian.

Validasi

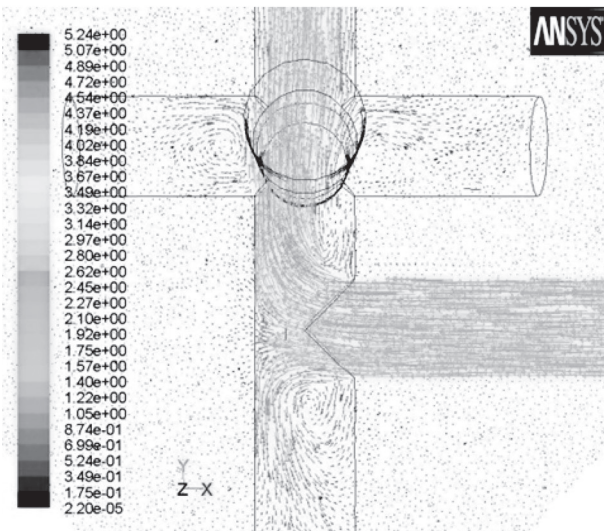
Validasi dilakukan terhadap data suhu hasil pengukuran setiap jam selama empat jam pemberian aerasi yang dibandingkan dengan data simulasi 1, 2, 3, dan 4 hasil analisis CFD. Karena suhu udara yang masuk selama proses aerasi tidak stabil maka kondisi setiap jam aerasi digunakan untuk simulasi CFD sehingga masing-masing simulasi dapat mewakili setiap jam eksperimen dilapangan. Gambar 4. menunjukkan rata-rata nilai *error* hasil validasi antara suhu hasil pengukuran dengan analisis CFD. Hasil validasi diperoleh nilai *error* rata-rata 3.6 % - 5.47 %, sedangkan hasil uji statistik *paired sample t-test* antara suhu pengukuran dengan hasil analisis CFD diperoleh hasil yang tidak beda nyata pada simulasi 2 dan 4. Hasil ini berarti bahwa suhu udara hasil pengukuran dan analisis CFD adalah sama pada kondisi tersebut. Walaupun tidak semua tidak berbeda nyata, namun dapat

disimpulkan bahwa analisis CFD yang dilakukan dapat digunakan untuk merepresentasikan sistem aerasi pada penyimpanan gabah dalam silo.

Dari gambar 4. terlihat bahwa besarnya rata-rata nilai *error* pada simulasi 1 dan 3 lebih besar daripada simulasi lainnya. Selain itu, pada simulasi tersebut berdasarkan uji statistik menunjukkan adanya perbedaan yang nyata antara suhu hasil pengukuran dengan analisis CFD. Besarnya nilai *error* dan hasil berbeda nyata tersebut disebabkan karena pada analisis CFD, gabah didefinisikan sebagai volume media berpori yang dapat dilalui udara dan tidak dikondisikan sebagai material yang mempunyai suhu awal. Sedangkan kondisi dilapangan, gabah mempunyai suhu awal sehingga panas yang keluar dari massa gabah selama proses aerasi mempengaruhi suhu udara didalam silo. Selain itu, faktor lain yang berpengaruh adalah tidak stabilnya suhu udara aerasi selama proses. Walaupun demikian, besarnya rata-rata nilai *error* menunjukkan hasil yang cukup baik yaitu berada dibawah 6%. Hasil penelitian Fanzuri, (2013)

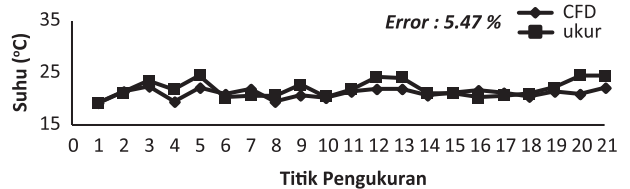


Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

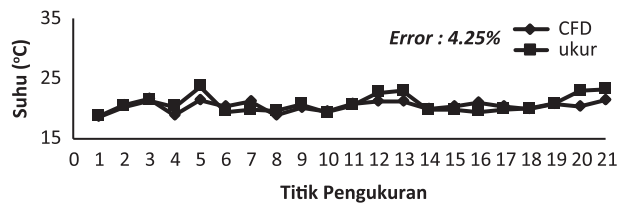


Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

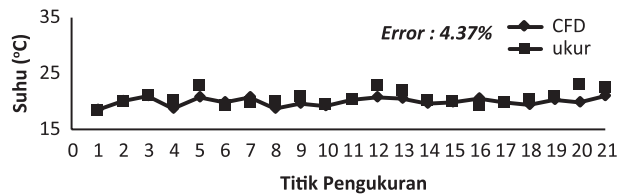
Gambar 3. Vektor kecepatan aliran udara hasil analisis CFD.



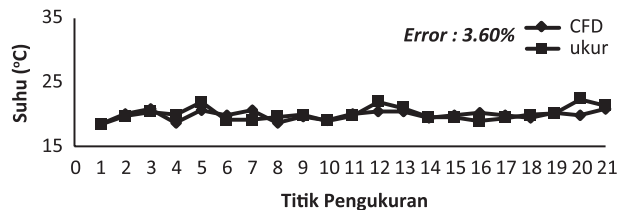
Simulasi 1



Simulasi 2



Simulasi 3



Simulasi 4

Gambar 4. Validasi suhu udara hasil pengukuran dengan analisis CFD.

dengan pendekatan CFD pada alat pengering gabah tipe bak, mendapat hasil nilai *error* rata-rata untuk kecepatan aliran udara pengering sebesar 14.9 %. Sedangkan Nurba (2008), melaporkan hasil validasi antara pengukuran dengan analisis CFD pada alat pengering jagung memberikan korelasi sebesar 0.66 dan 0.73 terhadap sebaran suhu dan kecepatan aliran udara. Al Kindi, et al., (2015), dengan beberapa perlakuan kecepatan aliran udara yang masuk pada alat pengering tipe rak, hasil validasi suhu antara hasil pengukuran dengan analisis CFD diperoleh nilai determinasi koefisien (R^2) lebih dari 0.8.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian setelah empat jam aerasi diperoleh rata-rata suhu udara didalam silo 20.14 °C berkisar 18.9 – 22.4 °C, sedangkan hasil analisis CFD diperoleh rata-rata suhu 19.9 °C yang berkisar 18.6 – 20.9 °C. Hasil analisis CFD dapat digunakan untuk merepresentasikan sistem aerasi pada penyimpanan gabah dalam silo dengan tingkat validasi yang cukup tinggi, diperoleh rata-rata nilai *error* suhu udara hasil pengukuran dengan analisis CFD berkisar 3.6 % - 5.47 %.

Daftar Pustaka

- Al Kindi, H., Y. A. Purwanto., dan D. Wulandani. 2015. Analisis CFD Aliran Udara Panas pada Pengering Tipe Rak dengan Sumber Energi Gas Buang. JTEP Jurnal Keteknik Pertanian Vol. 3, No.1, April 2015.
- Bintoro, N. 2008. Rekayasa Metode Aerasi Pada Penyimpanan Jagung Secara Curah Dalam Silo. Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 – Yogyakarta, 18-19 November 2008.
- Bhardwaj, S., dan R. Sharma. 2015. *Review : Recent Advances in on-farm Paddy Storage*. International Journal of Farm Science 5(2):265-272, 2015.
- Chidanand, D.V., dan Shanmugasundaram S. 2016. *A Study on Storage Temperature of Paddy in Metal Silos*. International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR) Vol.6, Issue 2, April 2016, 73-78.
- Fansuri A. 2013. Pendekatan CFD untuk Optimasi Keseragaman Aliran Udara pada Pengering Gabah Tipe Bak. (Skripsi). Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Hung B.N, A. Nuntaphan, dan T. Kiatsirirot., 2009. *Integration of Desiccant Tray Unit with Internal Cooling for Aeration of Paddy Silo in Humid Tropical Climate*. Research Paper: Postharvest Technology. Biosystems Engineering 102 (2009) 75–82.
- Hung, B. N., A. Nuntaphan, and T. Kiatsirirot. 2008. *Aeration simulation of stored paddy by integrating desiccant tray unit into grain ventilation system*. Mj. Int. J. Sci. Tech. 2008, 1(Special Issue), 7-16. ISSN 19057873.
- Incopera, P. Frank, Dewitt dan P. David. 1990. *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. Third Edition. New York : John Wiley and Sons.
- Jian F., Jayas D. S., dan White N. D.G., 2009. *Temperature Fluctuations and Moisture Migration in Wheat Stored for 15 Months in a Metal Silo in Canada*. Journal of Stored Products Research 45 (2009) 82–90.
- Khatchaturian O.A. dan D.L. Savicki., 2004. *Mathematical Modelling of Airflow in an Aerated Soya Bean Store Under Non-uniform Conditions*. Biosystems Engineering (2004) 88(2), 201–211.
- Lazzari, F.A, S.M.N. Lazzari,., dan F.N. Lazzari,., 2006. *Artificial Cooling to Control Coleopterans in Paddy Rice Stored in Metallic Silo*. 9th International Working Conference on Stored Product Protection. Alternative Methods to Chemical Control. PS7-32 – 6292.
- Lee, C.H, dan D.S. Cung. 1995. *Grain Physical and Thermal Properties Related to Drying and Aeration*, Grain Drying in Asia. Proceeding of an International Conference Held at the FAO Regional Office for Asia and the Pacific. Bangkok. Thailand, 17-20 Oktober 1995. ACIAR.
- Lopes D. de. C., J.H. Martins., A. F. L. Filho., E. de. C. Melo, P. M. de. B. Monteiro, dan D. M. de. Queiroz., 2008. *Aeration Strategy for Controlling Grain Storage Based on Simulation and on Real Data Acquisition*. Computers and Electronics in Agriculture 63 (2008) 140–146.
- Nurba, D. 2008. Analisis Distribusi Suhu, Aliran Udara, RH dan Kadar Air dalam *In-Store Dryer* (ISD) untuk Biji Jagung. (Tesis). Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Proctor, D. L. 1994. *Grain storage techniques: Evolution and Trends in Developing Countries*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Roma. ISBN 92-5-1 03456-7.
- Sawant, A. A., S. C. Patil, S. Kalse, dan B. N. J. Thakor 2012. *Effect of Temperature, Relative Humidity and Moisture Content on Germination Percentage of Wheat Stored in Different Storage Structures*. Agric Eng Int: CIGR Journal. Vol. 14, No. 2.
- Tuakia, F. 2008. Dasar-Dasar CFD Menggunakan Fluent. Informatika. Bandung.
- Varnamkhasti M.G., H. Mobli, A. Jafari, S. Rafiee, M. Heidarysoltanabadi, and K. Kheiralipour. 2007. *Some Engineering Properties of Paddy (var. Sazandegi)*. International Journal of Agriculture & Biology 1560–8530/2007/09–5–763–766.
- Versteeg, H.K. dan W. Malalasekera. 1995. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*. Longman Scientific and Technical:New York.