

PENGEMBANGAN SISTEM AERASI DAN PENGENDALIAN KOMBINASI UDARA LINGKUNGAN DAN PEMANASAN UNTUK PENGERINGAN GABAH

DISWANDI NURBA



**ILMU KETEKNIKAN PERTANIAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.





PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Pengembangan Sistem Aerasi dan Pengendalian Kombinasi Udara Lingkungan dan Pemanasan untuk Pengeringan Gabah” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, 9 Desember 2024

Diswandi Nurba
F1603211006

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

DISWANDI NURBA. Pengembangan Sistem Aerasi dan Pengendalian Kombinasi Udara Lingkungan dan Pemanasan untuk Pengeringan Gabah. Dibimbing oleh SUTRISNO, DYAH WULANDANI, LEOPOLD OSCAR NELWAN, I DEWA MADE SUBRATA.

Indonesia menempati peringkat keempat sebagai negara dengan konsumsi beras terbesar di dunia, dengan total konsumsi sekitar 35,3 juta metrik ton pada 2022/2023. Tingginya permintaan beras mendorong sektor pertanian untuk terus meningkatkan produksi gabah guna memenuhi kebutuhan dalam negeri dan mengurangi ketergantungan pada impor. Namun, tantangan perubahan iklim, cuaca yang tidak menentu dan curah hujan ekstrem yang dapat mempengaruhi kualitas dan kuantitas hasil panen, serta menyulitkan proses pengeringan. Hal ini mendorong penggunaan teknologi pengeringan yang lebih efektif agar kualitas panen tetap optimal.

Proses pengeringan menjadi tahap penting dalam pasca panen gabah untuk menjaga kualitas dan daya tahan produk. Pengeringan bertujuan mengurangi kadar air gabah sehingga mencegah pertumbuhan jamur dan fermentasi yang dapat merusak kualitas beras. Dengan kadar air optimal $\leq 14\%$, gabah dapat disimpan lebih lama tanpa kerusakan, meningkatkan nilai ekonomis, dan memenuhi standar mutu yang ditetapkan.

Salah satu teknologi pengeringan yang dapat membantu menghadapi tantangan ini adalah *deep bed dryer*, atau pengering tumpukan. Pengering ini dirancang khusus untuk mengeringkan gabah dalam jumlah besar menggunakan lapisan gabah yang tebal atau dalam. Prinsip kerja *Deep bed dryer* adalah mengalirkan udara panas secara merata melalui tumpukan gabah, sehingga proses pengeringan dapat berlangsung lebih cepat dan efektif dibandingkan metode pengeringan tradisional yang bergantung pada sinar matahari. Namun, pengering tumpukan juga menghadapi tantangan ketidakseragaman kadar air, untuk mengatasi masalah ini, salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah penggunaan sistem aerasi. Sistem aerasi ini berfungsi mengalirkan udara secara lebih merata ke seluruh lapisan gabah di dalam tumpukan, sehingga distribusi kadar air lebih seragam. Sistem aerasi memastikan semua area ruang pengering mendapatkan udara pengering yang optimal, sehingga dapat menjaga kualitas hasil panen secara keseluruhan. Selain sistem aerasi, penerapan sistem kontrol pada *blower* dan *burner* juga sangat penting untuk meningkatkan efektivitas pengeringan. Kontrol pada *blower* memungkinkan pengaturan aliran udara yang presisi, sedangkan pengaturan *burner* membantu menjaga suhu tetap stabil. Penerapan sistem aerasi, kontrol *blower*, dan *burner* menciptakan sistem pengering yang dapat mengkombinasikan proses pengeringan dengan udara *ambient* dan udara dengan pemanasan, sehingga pengeringan menjadi lebih merata, efisien, dan hemat energi. Pendekatan pengeringan kombinasi ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada kondisi cuaca, tetapi juga menjadikan proses pengeringan gabah lebih efektif dan ekonomis.

Secara umum tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan desain sistem aerasi yang optimal *deep bed dryer* dengan melakukan analisis *Computational Fluid Dynamics (CFD)* serta penerapan analisis *Multi Criteria Decision Making (MCDM)*; *Simple Additive Weighting (SAW)*, *The Analytical Hierarchy Process (AHP)* dan *The Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS)*. Selanjutnya perancangan sistem kontrol untuk pengendalian *blower* dan *burner*, sebagai langkah dalam menerapkan aliran udara kombinasi udara lingkungan dan pemanasan untuk pengeringan gabah. Untuk memvalidasi model desain, maka dilakukan uji performansi pengeringan gabah dengan prototipe *deep bed dryer* yang dilengkapi sistem aerasi dan sistem kontrol, sehingga didapat performa proses pengeringan, serta besarnya konsumsi energi.

Penelitian tahap pertama bertujuan melakukan analisis dan evaluasi kombinasi sistem pipa saluran udara dan lantai *deep bed dryer* dalam mendistribusikan aliran udara, suhu, RH, dan tekanan ke seluruh area *drying chamber*. *Deep bed dryer* yang disimulasikan memiliki dimensi diameter 0,8 m dan tinggi 1,5 m. Pengering ini memiliki sembilan pipa *input* udara, masing-masing berdiameter 0,08 m, dan empat pipa *output* udara berdiameter 0,12 m. Lubang *inlet* udara berbentuk persegi, berukuran 0,2 m × 0,35 m, sedangkan lubang *outlet* udara berdiameter 0,3 m. *Dryer* ini diisi dengan gabah 150 kg yang *disetting* sebagai *porous zone* dengan nilai $\rho=522 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pada tahap ini dilakukan simulasi terhadap empat model kombinasi lantai dan pipa yaitu; CFRP (*conical floor– rectangular pipe*), CFCP (*conical floor– circular pipe*), SFRP (*sloping floor – rectangular pipe*), and SFCP (*sloping floor – circular pipe*). Keempat model tersebut diuji pada kecepatan aliran udara masuk $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, dengan suhu 40 °C. Hasil simulasi CFD menunjukkan bahwa kombinasi *sloping floor* dan *circular pipe* memiliki distribusi aliran udara, suhu, RH, dan tekanan yang lebih baik dari kombinasi *conical floor* dan *rectangular pipe*. Analisis lanjutan menggunakan metode SAW menempatkan Skenario 4 dengan model SFCP sebagai model dengan nilai preferensi tertinggi 0,97 dan direkomendasi untuk pabrikan prototipe *deep bed dryer*.

Penelitian tahap kedua, merupakan pengujian lanjutan dengan skenario pengujian yang lebih komplisit. Tujuan penelitian pada tahap ini adalah mendapatkan performa kinerja empat model *deep bed dryer* ketika diberikan variasi kecepatan aliran udara masuk. Tahapan ini memberi rujukan untuk desain dan algoritma sistem kontrol pada tahap berikutnya. Secara spesifik, tahap ini dilakukan untuk menganalisis sistem aerasi yang optimal pada empat desain alternatif model *deep bed dryer* dengan sistem aerasi menggunakan simulasi *CFD* dan metode *AHP-TOPSIS*, yang dilanjutkan dengan simulasi proses pengeringan gabah pada masing-masing model. Pada tahap ini, Model 1–4 (yang juga digunakan pada penelitian tahap satu) diberikan *input* udara yang bervariasi pada tiga *level* kecepatan aliran udara, yaitu; 2; 2,5 dan $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Hasil analisis keseluruhan, menunjukkan bahwa model 3 dan 4 memiliki keseragaman suhu dan RH yang sangat baik, disamping itu ditemukan bahwa setiap peningkatan kecepatan aliran udara *input* $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ berimbas pada penurunan suhu udara pada keempat model rata-rata sebesar $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$, serta meningkatkan RH rata-rata, kecepatan udara, dan tekanan di dalam *drying chamber* masing-masing sebesar; 1,6%; $0,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dan 5,5 Pa. Disamping itu pengujian pada tahap ini juga merekomendasikan Model 4 (SFCP) yang menggunakan sistem aerasi kombinasi lantai *sloping* dan pipa penyalur udara



dengan pola *circular* untuk digunakan pada pabrikasi prototipe *deep bed dryer*, dengan nilai preferensi 0,95.

Penelitian tahap ketiga merupakan tahapan uji kinerja sistem aerasi prototipe *deep bed dryer* dengan sistem aerasi yang terintegrasi sistem kontrol. Prototipe yang di uji adalah Model 4 yang merupakan rekomendasi pada penelitian tahap 1 dan 2. Sebanyak 150 kg gabah dikeringkan di dalam *dryer* selama 7,5 jam, dan diamati perubahan kadar air, suhu, dan RH, pada tiga ketinggian tumpukan $H_t=0,53$ m, $H_t=0,80$ m, dan $H_t=1,07$ m. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa eksperimen proses pengeringan mengeleminir kadar air gabah dari rata-rata 25% menjadi rata-rata 13,9% dengan laju pengeringan rata-rata $1,5\% \cdot \text{jam}^{-1}$. Sistem aerasi mampu mendistribusikan aliran udara, suhu dan RH dengan baik ke semua area *drying chamber*, walaupun terdapat variasi namun kontinuitas pengaliran dan posisi pipa-pipa *input* dan *output* memfasilitasi jangkauan aliran udara pengering secara proporsional. Terdapat beberapa fluktuasi kecil yang menggambarkan dinamika pergerakan uap air antar *layer* namun hanya berlangsung dalam durasi yang singkat tanpa gangguan signifikan terhadap proses pengeringan. Adanya perbedaan kadar air antar *layer* selama proses pengeringan dengan rata-rata standar deviasi 0,6–0,9% dan setiap *layer* ($H_t=0,53$ m pada range 0,6–1,1%, $H_t=0,80$ m pada range 0,8–1,3%, dan $H_t=1,07$ pada range 0,4–0,8%) menunjukkan variasi kadar air yang tidak terlalu besar untuk sebuah pengering tumpukan. Namun variasi yang signifikan pada *layer* bagian tengah menunjukkan perlu perbaikan agar porsi aliran udara di bagian ini dapat ditingkatkan. Pengujian mutu gabah hasil pengeringan, IPB9G sebagai bahan uji secara umum telah memenuhi kriteria SNI 6128:2020.

Penelitian tahap keempat adalah pengujian kinerja sistem kontrol pada proses pengeringan gabah, yang diikuti dengan analisis energi yang digunakan pada proses tersebut. Sebuah sistem kontrol menggunakan *microcontroller ESP32*, dilengkapi 8 buah sensor DHT22, dirakit dan diberikan algoritma pengendalian kecepatan *blower* dan penyalaan *burner* selama pengeringan. Pencatatan data suhu, RH dan Me potensial dilakukan dengan module *SD Card* yang tertanam pada sistem kendali dan juga melalui *platform Blynk IoT*. Pengendalian ini didasarkan pada tiga tahapan pengeringan yaitu; *preheating stage*, *constant-rate drying stage*, dan *deceleration stage*. Secara teoritis ketiga tahapan tersebut berlangsung dalam durasi waktu yang berbeda dan juga membutuhkan energi yang berbeda. Algoritma sistem kontrol mengakomodir fenomena ini untuk mengatur *supply* panas dari *burner* dan volume aliran udara sesuai dengan kondisi dan batasan yang ditentukan, dengan perbandingan kondisi udara *ambient* dan *dryer* yang direpresentasikan oleh *moisture equilibrium (Me)* potensial sebagai fungsi suhu dan RH. Sistem kontrol mampu merespon sejak terjadi perubahan kondisi ke aksi aktuator selama 16–20 detik, sehingga dapat mempertahankan kinerja pengeringan optimal. Energi total yang digunakan dalam pengoperasian *blower* dan *burner* sebesar 56,9 MJ, konsumsi energi spesifik sebesar $2,9 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ air yang diuapkan. Energi yang digunakan dalam proses pengeringan untuk pemanasan gabah dan evaporasi air sebesar 37,9 MJ, sehingga efisiensi energi keseluruhan sebesar 69,4%. Dengan memperhitungkan tarif listrik dan harga gas *LPG*, biaya energi pengeringan berkisar antara Rp.72–Rp.166 per kilogram gabah basah, dalam kategori subsidi dan non subsidi biaya listrik dan gas *LPG*.

Penggunaan gas *LPG* sebagai sumber energi untuk pemanasan udara dalam pengeringan tentu saja menjadi isu penting, namun karena pertimbangan teknis seperti pembakaran lebih bersih, mudah terbakar, dan praktis secara *volumetric* maka menjadi pilihan dalam pengoperasian *burner* dan sistem kendali. Selain itu, mengganti *LPG* dengan biogas merupakan tantangan untuk menjawab kemandirian energi dan mendukung energi hijau yang tentu *renewable*. Walaupun *LPG* memiliki keunggulan dalam hal kepadatan energi (dalam massa yang sama nilai kalor biogas sekitar 67,4% *LPG*) dan kemudahan penyimpanan, biogas menawarkan keuntungan operasional yang lebih berkelanjutan, terutama jika bahan baku tersedia di lokasi pengoperasian *dryer*. Menggantikan *LPG* dengan biogas sebagai sumber panas untuk *deep bed dryer* memerlukan kesiapan infrastruktur, teknologi pemurnian gas, serta kebijakan yang mendukung, biogas dapat menjadi solusi yang berkelanjutan dan efisien bagi industri pengeringan di masa mendatang.

Kata kunci: *computational fluid dynamics*, konsumsi energi spesifik, pengering tumpukan, sistem aerasi, sistem kontrol.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



SUMMARY

DISWANDI NURBA. Development of an Aeration System and Combined Control of Ambient Air and Heating for Paddy Grain Drying. Dibimbing oleh SUTRISNO, DYAH WULANDANI, LEOPOLD OSCAR NELWAN, I DEWA MADE SUBRATA.

Indonesia ranks fourth globally in rice consumption, with approximately 35.3 million metric tons consumed in 2022/2023. This substantial demand for rice drives the agricultural sector to increase paddy production continuously to meet domestic needs and reduce reliance on imports. However, challenges posed by climate change, such as unpredictable rainfall, affect the quality and quantity of harvests and complicate drying processes, leading to adopting more effective drying technologies to maintain optimal harvest quality.

The drying process is a critical post-harvest step in maintaining paddy grain's quality and shelf life. Drying aims to reduce moisture content, which prevents mold growth and fermentation that can compromise rice quality. At an optimal moisture content ($\leq 14\%$), paddy can be stored for extended periods without deterioration, increasing its economic value and meeting established quality standards.

One effective drying technology to address these challenges is the deep bed dryer, explicitly designed for large-scale paddy drying using pile or deep paddy layers. The deep bed dryer distributes hot air uniformly through the paddy layers, accelerating the drying process and increasing its effectiveness compared to traditional sun-based drying methods. However, deep bed dryers also face challenges in achieving uniform moisture distribution. An aeration system can be implemented to address this, which distributes airflow evenly across all paddy grain layers, resulting in more consistent moisture levels. Aeration ensures that all sections of the drying chamber receive optimal airflow, thus preserving the quality of the harvested paddy. Additionally, blower and burner controls are essential to enhance drying efficiency. Blower control enables precise airflow adjustments, while burner control maintains a stable temperature. Combining aeration, blower, and burner control allows a more uniform, efficient, and energy-saving drying process. This combined drying approach reduces dependency on weather conditions and makes paddy grain drying more practical and economical.

This study's main objective is to design an optimal aeration system for the deep bed dryer through Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis and multi-criteria decision-making (MCDM) approaches, including Simple Additive Weighting (SAW), Analytical Hierarchy Process (AHP), and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). Further objectives include designing a control system for the blower and burner to apply a mixed ambient and heated airflow for paddy grain drying. To validate the design against the prototype's performance, the study also aims to conduct a performance test of the deep bed dryer with integrated aeration and control systems to assess drying effectiveness and energy consumption.

In the first phase of this research, four configurations of duct and floor designs in the deep bed dryer were analyzed and evaluated for their ability to

distribute airflow, temperature, RH, and pressure uniformly across the drying chamber. The simulated deep bed dryer model has a diameter of 0.8 m and a height of 1.45 m, with nine input pipes (each 0.08 m in diameter) and four output pipes (0.12 m in diameter). The inlet slots are rectangular (0.2 m × 0.35 m), and the outlet slots have a diameter of 0.3 m. The dryer was loaded with 150 kg of paddy, represented as a porous zone with a density of $\rho = 522 \text{ kg/m}^3$. Four floor and pipe combinations were tested: CFRP (conical floor–rectangular pipe), CFCP (conical floor–circular pipe), SFRP (sloping floor–rectangular pipe), and SFCP (sloping floor–circular pipe). CFD simulations indicated that the sloping floor and circular pipe combination offered superior airflow, temperature, RH, and pressure distribution compared to the conical floor and rectangular pipe. SAW analysis ranked Scenario 4 (SFCP) as the top choice with a preference score of 0.95, recommending it for prototype fabrication.

The second research phase involved further testing with varied airflow rates to evaluate the performance of four deep bed dryer models, providing a reference for future control system design. Optimal aeration was analyzed across these models using CFD simulations and the AHP-TOPSIS method, followed by drying process simulations for each. Models 1–4 were tested with three airflow rates: 2; 2.5 and 3 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Results showed that Models 3 and 4 demonstrated excellent temperature and RH uniformity. Each 0.5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ increase in airflow rate was observed to reduce average air temperature by 0.6 °C while increasing RH, air velocity, and pressure by 1.6%, 0.02 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, and 3.2 Pa, respectively. Model 4, which uses a combined aeration system of sloping floors and air delivery pipes arranged in a circular pattern, was recommended for fabricating the prototype deep bed dryer, with a preference score of 0.8.

The third stage of the research was to test the performance of the aeration system of the prototype deep bed dryer with an integrated aeration system control system. The prototype tested was Model 4, a recommendation in research stages 1 and 2. A total of 150 kg of grain was dried in the dryer for 7.5 hours, and changes in moisture content, temperature, and RH at three pile heights, $H_t = 0.53 \text{ m}$, $H_t = 0.80 \text{ m}$, and $H_t = 1.07 \text{ m}$ were observed. The results showed that the experimental drying process eliminated the grain moisture content from an average of 25% to 13.9%, with an impressive average drying rate of 1.5%·hr⁻¹. The aeration system could distribute airflow, temperature, and RH well to all areas of the drying chamber. Although there were variations, the continuity of flow and the position of the input and output pipes facilitated the proportional range of drying airflow. Some small fluctuations illustrate the dynamics of water vapor movement between layers but only last for a short duration without significantly disrupting the drying process. The difference in moisture content between layers during the drying process with an average standard deviation of 0.6–0.9% and each layer ($H_t=0.53 \text{ m}$ in the range of 0.6–1.1%, $H_t=0.80 \text{ m}$ in the range of 0.8–1.3%, and $H_t=1.07$ in the range of 0.4–0.8%) shows a modest variation in moisture content for a bed dryer. However, the significant variation in the middle layer indicates the need for improvement so that the portion of airflow in this section can be increased. Testing the quality of the dried paddy grain, IPB9G, as the test material has generally met the SNI 6128: 2020 criteria.

In the fourth phase, the control system's performance during drying was evaluated, along with an energy analysis. The ESP32 microcontroller-based control





system, equipped with eight DHT22 sensors, was assembled and programmed to control blower speed and burner operation. Temperature, RH, and moisture equilibrium potential (Me) data were recorded using an SD card module within the control system and the Blynk IoT platform. The control system accommodated three drying stages: preheating, constant rate, and deceleration, each requiring specific durations and energy levels. The control algorithm was adjusted to supply heat and airflow based on ambient and drying conditions, represented by Me as a function of temperature and RH. The system responded to changes within 16–20 seconds, maintaining optimal drying performance. The total energy consumption for blower and burner operation was 56.9 MJ, with a specific energy consumption of 2.9 MJ/kg of evaporated water. Of the energy used, 37.9 MJ went towards heating paddy grain and water evaporation, achieving an overall energy efficiency of 69.5%. Considering electricity and LPG costs, the drying energy cost ranged from Rp.72 to Rp.166 per kg of wet paddy grain, depending on the subsidy status for electricity and LPG.

LPG is widely used for heating and drying due to its cleanliness, combustibility, and practical storage. However, replacing LPG with biogas could improve energy independence and support renewable green energy initiatives. While LPG has energy density (in the same volume, the heating value of biogas is only 67.4% of LPG) and storage advantages, biogas provides a more sustainable option, especially if the raw materials are available locally. Transitioning to biogas as a heat source for deep bed dryers would require infrastructure readiness, gas purification technology, and supportive policies; biogas could offer a sustainable, efficient solution for the drying industry in the future.

Keywords: aeration system, computational fluid dynamics, control system, deep bed dryer, specific energy consumption.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



LEMBAR PENGESAHAN

Judul Disertasi : Pengembangan Sistem Aerasi dan Pengendalian Kombinasi Udara Lingkungan dan Pemanasan untuk Pengeringan Gabah

Nama : Diswandi Nurba

NIM : F1603211006

Disetujui oleh

Pembimbing 1
Prof. Dr. Ir. Sutrisno, M.Agr



Pembimbing 2
Dr. Ir. Dyah Wulandani, M.Si



Pembimbing 3
Dr. Leopold Oscar Nelwan, S.TP., M.Si



Pembimbing 4
Dr. Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr



Diketahui oleh

Ketua Program Studi
Prof. Dr. Ir. Sutrisno, M.Agr
NIP. 195907201986011002



Dekan Fakultas,
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr
NIP. 196105021986031002



Tanggal Ujian : 09 Desember 2024

Tanggal Lulus :

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya, sehingga penulisan disertasi ini berhasil diselesaikan dengan baik. Penulis mengangkat judul “Pengembangan Sistem Aerasi dan Pengendalian Kombinasi Udara Lingkungan dan Pemanasan untuk Pengeringan Gabah”. Disertasi ini membahas desain sistem aerasi dan sistem kendali untuk *deep bed dryer*, serta performansinya dalam pengeringan gabah. Prinsip pengeringan konveksi menggunakan suhu rendah, dan terkendali dapat memberikan kondisi pengeringan yang baik dan efektif, serta efisien dalam penggunaan energi. Secara keseluruhan konten disertasi ini telah berusaha menerapkan *tagline* IPB University “*Inspiring innovation with integrity*”, dalam gagasan, desain dan pengembangan yang dilakukan.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak dan Ibu komisi pembimbing, Prof. Dr. Ir. Sutrisno, M.Agr selaku ketua komisi pembimbing dan ketua program studi S3-Ilmu Keteknikan Pertanian, Dr. Ir. Dyah Wulandani, M.Si., Dr. Leopold Oscar Nelwan, S.TP., M.Si., dan Dr. Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr. selaku anggota komisi pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama penelitian dan penulisan disertasi. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Dr. Ir. Edy Hartulistiyoso, M.Sc.Agr. dan Dr. Muhammad Idkham, STP., M.Si. sebagai penguji luar komisi, serta Dr. Muhammad Yulianto, ST, MT sebagai perwakilan Program Studi S3-Ilmu Keteknikan Pertanian atas masukannya yang sangat berharga pada ujian tertutup dan promosi doktor.

Pada kesempatan ini, ungkapan terimakasih yang mendalam penulis sampaikan kepada istri tercinta Cut Neifa Yustini, SKM., ananda Fathya Callysta Fawnia, Nadhilah Carissa Radhwa, dan Syamil Chatib Annawawi, atas segala doa dan kasih sayangnya yang memberikan semangat untuk menyelesaikan penulisan disertasi ini. Kepada kedua orang tua Bapak H. Bangsawan, S.Pd. dan Ibu Hj. Nur Asiah yang selalu memberikan dukungan semangat dan doa yang terus menerus. Kedua mertua Bapak Teuku Yusnaldi dan Ibu Cut Fatimah yang telah memberikan dukungan dan doanya. Kakak dan adik-adik serta seluruh keluarga besar di Nanggroe Aceh Darussalam. Terimakasih juga penulis sampaikan untuk bantuan yang diberikan oleh banyak pihak maupun perorangan yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa disertasi ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga penulis sangat terbuka dalam menerima saran dan kritik yang membangun demi perbaikan. Semoga karya ilmiah ini dapat menjadi salah satu rujukan bagi pihak yang membutuhkan dalam pengembangan sistem pengering hasil pertanian khususnya gabah, serta bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan, terutama dalam bidang keteknikan pertanian.

Bogor, 9 Desember 2024

Diswandi Nurba



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
I PENDAHULUAN	1
1. 1 Latar Belakang	1
1. 2 Perumusan Masalah	5
1. 3 Tujuan	6
1. 4 Manfaat	6
1. 5 Ruang Lingkup	7
1. 6 Kebaruan (<i>Novelty</i>)	7
II TINJAUAN PUSTAKA	8
2. 1 Teori Pengeringan	8
2. 2 Pengeringan Tumpukan (<i>Deep Bed Drying</i>)	8
2. 3 Penerapan <i>Ambient Air Drying</i> dan <i>Hot-Air Drying</i>	9
2. 4 <i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i>	10
2.4.1 <i>Pre-processor</i>	11
2.4.2 <i>Solver</i>	12
2.4.3 <i>Post-processor</i>	12
2. 5 Simulasi Pengeringan Tumpukan	12
2. 6 Pemanasan Udara dan Sistem Pengendalian	13
2. 7 Gabah dan Syarat Mutu	15
III EVALUASI ALIRAN UDARA, TEMPERATUR, DAN RH PADA DEEP BED DRYER GABAH DENGAN BEBERAPA KOMBINASI LANTAI DAN PIPA DISTRIBUSI UDARA MENGGUNAKAN CFD DAN SAW METHOD	17
3. 1 Abstrak	17
3. 2 Pendahuluan	18
3. 3 Metode	19
3. 4 Hasil dan Pembahasan	23
3.4.1 Kecepatan Aliran Udara	23
3.4.2 Penurunan Tekanan Aliran Udara	26
3.4.3 Suhu Udara	27
3.4.4 <i>Relative Humidity (RH)</i>	30
3.4.5 Penentuan Skenario Terbaik Menggunakan <i>SAW Method</i>	31
3. 5 Simpulan	32
IV PENENTUAN SISTEM AERASI OPTIMAL DEEP BED DRYER GABAH MENGGUNAKAN COMPUTATIONAL FLUID ANALYSIS DAN METODE AHP-TOPSIS	33
4. 1 Abstrak	33
4. 2 Pendahuluan	34
4. 3 Metode	36
4.3.1 Model <i>Deep Bed Dryer</i>	36
4.3.2 Simulasi <i>CFD</i>	37

4.3.3	Penentuan Model Optimum Menggunakan Metode <i>AHP-TOPSIS</i>	39
4.4	Hasil dan Pembahasan	41
4.4.1	Kecepatan Aliran Udara dan Vektor	41
4.4.2	Tekanan Aliran Udara	43
4.4.3	Suhu Udara dan RH	45
4.4.4	Proses Pengeringan Gabah	47
4.4.5	Model Aerasi Optimum	49
4.5	Simpulan	50
V	ANALISIS KINERJA SISTEM AERASI <i>DEEP BED DRYER</i> PADA PENGERINGAN GABAH	51
5.1	Abstrak	51
5.2	Pendahuluan	51
5.3	Metode	53
5.3.1	Prototipe <i>Deep Bed Dryer</i>	53
5.3.2	Pengamatan pada Experimental	54
5.4	Hasil dan Pembahasan	55
6.4.1	Perubahan Kadar Air, Suhu, dan Kelembapan Relatif (RH) pada Proses Pengeringan	55
6.4.2	Sebaran Kadar Air pada Penampang Horizontal di dalam <i>Drying Chamber</i>	57
6.4.3	Pengaruh Sistem Aerasi Terhadap Kadar Air, Suhu, dan RH pada Proses Pengeringan	59
6.4.4	Kualitas Gabah Hasil Pengeringan	61
5.5	Simpulan	62
VI	PERFORMANSI SISTEM KONTROL PADA PROSES PENGERINGAN GABAH DALAM <i>DEEP BED DRYER</i>	63
6.1	Abstrak	63
6.2	Pendahuluan	64
6.3	Metode	65
6.3.1	Integrasi Sistem Kontrol pada <i>Deep Bed Dryer</i>	65
6.3.2	Algoritma Sistem Kontrol	67
6.3.3	Perakitan Sistem dan Pengujian Waktu Respon	69
6.3.4	Pengujian dan Evaluasi Sistem Kontrol dalam Proses Pengeringan Gabah	71
6.3.5	Konsumsi Energi dalam Proses Pengeringan Gabah	71
6.4	Hasil dan Pembahasan	73
6.4.1	Analisis Waktu Respon Sistem Kontrol	73
6.4.2	Kondisi <i>Dryer</i> dan <i>Ambient</i> Selama Operasi Pengeringan Terkendali	73
6.4.3	Dampak Kontrol pada Dinamika Kadar Air Gabah	76
6.4.4	Kinerja Sistem Kontrol	76
6.4.5	Konsumsi Energi pada Proses Pengeringan Gabah Terkendali	78
6.4.6	Biaya Energi	80
6.5	Simpulan	80
VII	PEMBAHASAN UMUM	82



7.1 Desain dan Evaluasi Sistem Aerasi	82
7.1 Penentuan Sistem Aerasi Optimum	82
7.2 Validasi Model CFD	83
7.3 Pengujian Performansi Pengeringan Gabah	84
7.4 Kinerja Sistem Kontrol	85
7.5 Prospek Pemanfaatan Biogas	85
7.6 <i>Scale Up Dryer</i>	86
VIII SIMPULAN UMUM DAN SARAN	88
9.1 Simpulan	88
9.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	104
RIWAYAT HIDUP	133

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.