

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL KADAR AIR GABAH PADA ALAT PENGERING GABAH BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 8

DESIGN OF PADDY MOISTURE CONTENT CONTROL SYSTEM ON THE PADDY DRYER MACHINE BASED ON ATMEGA 8 MICROCONTROLLER

Oleh: Adilia Rismawati ¹⁾ dan Agus Purwanto, M. Sc. ²⁾, Mahasiswa Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta ¹⁾ dan Dosen Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta ²⁾
 Email: adiliarismawati@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kontrol kadar air gabah pada alat pengering gabah dengan *set point* 14%, untuk mengetahui cara kerja sistem kontrol kadar air gabah dan untuk menganalisis pemodelan difusi massa air pada model gabah silinder. Sistem kontrol kadar air gabah menggunakan mikrokontroler ATmega 8 yang keluarannya mempengaruhi kondisi kerja saklar transistor sehingga memicu relay untuk menyalakan atau mematikan pemanas. *Input* dan *output* setiap blok sistem didefinisikan sehingga diperoleh diagram blok keseluruhan sistem. Pemodelan difusi massa air model gabah silinder dianalisis menggunakan persamaan *moisture ratio* dalam sistem koordinat silinder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kontrol kadar air gabah bekerja dengan baik sesuai *set point* yang diinginkan. Saat kadar air gabah di atas 14%, pemanas menyala dan saat kadar air gabah kurang dari atau sama dengan 14% pemanas mati. Pola distribusi *moisture ratio* pada gabah mengalami penurunan disertai fluktuasi dari pusat koordinat. Semakin bertambahnya waktu, fluktuasi makin berkurang dan membentuk pola *steady-state*.

Kata kunci: sistem kontrol, kadar air, gabah, difusi massa air.

Abstract

This research aimed to design a paddy moisture content control system on the paddy dryer machine with a set point of 14%, to determine the working principle of the paddy moisture content control system, and to analyze modeling the mass of water diffusion on paddy cylindrical model. Paddy moisture content control system was designed by using an ATmega 8 microcontroller that the output could affect the working conditions of transistor that triggered the relay to turn on or turn off the heater. Then, each input and output of each block in the system was defined to obtain the block diagram of the whole system that described the working principle of the system. Modeling the mass of water diffusion on paddy cylindrical model was analyzed by using equation of mass diffusion on cylindrical coordinate system. The results showed that paddy moisture content control system can work well according to set point. If the paddy moisture content was above 14%, the heater will turn on and if the paddy moisture content was less than equal to 14%, the heater will turn off. The moisture ratio decreased from the center position coordinate with fluctuation. If time increases, the fluctuation diminished and formed a pattern of steady-state.

Keywords: control system, moisture content, paddy, the mass of water diffusion

PENDAHULUAN

Kadar air gabah panen dari sawah umumnya masih cukup tinggi, sekitar (20-26)%. Pada tingkat kadar air tersebut, gabah tidak aman disimpan karena biji gabah dapat tumbuh kembali menjadi benih atau akan ditumbuhi jamur. Oleh karena itu, gabah perlu dikeringkan hingga mencapai kadar air seimbang, yaitu 14%, agar aman disimpan. Pada umumnya, petani menggunakan cara tradisional. Pengeringan

gabah secara tradisional membutuhkan waktu (2-3) hari tergantung dari sinar matahari (Kementerian Pertanian, 2014:10). Permasalahan muncul ketika musim hujan, para petani tidak dapat menjemur hasil gabah mereka. Permasalahan ini akan bertambah apabila petani tidak memiliki halaman yang luas untuk menjemur gabah. Oleh karena itu dibutuhkan suatu alat pengering gabah yang mampu mengeringkan gabah hingga kadar air 14%.

Alat pengering yang telah ada di pasaran yaitu *flat dryer*, *bed dryer*, dan *drum dryer*. Sumber energi yang digunakan yaitu solar, listrik atau gas. Alat pengering gabah yang telah ada, kebanyakan sudah dilengkapi dengan sistem kontrol suhu atau sistem kontrol pengaduk (Nusyirwan, 2014:46). Namun, penetapan kadar air gabah masih dilakukan secara manual. Oleh karena itu, peneliti merancang sistem kontrol kadar air gabah pada alat pengering gabah dengan langkah awal merancang sensor kadar air gabah.

Pengeringan adalah suatu metode untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkan air menggunakan energi panas hingga mencapai kadar air tertentu. Keluarnya air dari bahan dimulai dengan penguapan air bebas. Apabila air bebas telah habis diuapkan, maka akan terjadi migrasi air dari bagian dalam bahan secara difusi (Mujumdar, 2004:4).

Difusi merupakan perpindahan suatu zat karena adanya perbedaan konsentrasi. Difusi yang terjadi pada gabah merupakan difusi massa air. Difusi massa air pada gabah dapat dipelajari dengan memodelkan bentuk gabah ke bentuk lain yang mendekati bentuk riilnya. Pemodelan dapat menyesuaikan dengan jenis sistem koordinat yang dapat digunakan, seperti sistem koordinat kartesian, sistem koordinat silinder atau sistem koordinat bola (Cengel & Ghajar, 2015:850-859). Bentuk silinder merupakan bentuk pemodelan gabah yang paling mendekati bentuk riilnya.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kontrol kadar air gabah pada alat pengering gabah dengan *set point* 14%, untuk mengetahui cara kerja sistem kontrol kadar air gabah dan untuk menganalisis difusi massa air pada model gabah silinder. Penelitian ini diharapkan dapat diaplikasikan dalam keadaan nyata oleh petani, sehingga dapat membantu mengatasi masalah pengeringan gabah ketika musim hujan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama bulan November 2015 sampai dengan bulan Agustus

2016 di Bengkel Fisika, Laboratorium Koloid, dan Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA UNY, serta di Laboratorium Dinas Pertanian Kota Yogyakarta.

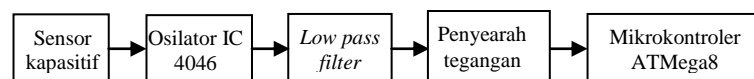
Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah alat pengering gabah berbentuk silinder, multimeter digital, *Grain Moisture Tester*, LCR meter, *Cathode Ray Oscilloscope*, sistem minimum ATmega 8, LCD 16×2 tulisan putih, potensiometer 50 kΩ, kabel penghubung, *probe* yang terbuat dari 2 buah batang silinder berbahan *stainless steel* dengan diameter 0,6 cm dan panjang 5 cm, LM 35DZ, dan Arduino Uno. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah gabah.

Teknik Pengambilan Data

1. Merancang sistem kontrol kadar air gabah.

Sistem kontrol kadar air gabah pada alat pengering gabah dirancang berdasarkan prinsip sistem kontrol *closed loop*. *Feedback* sistem kontrol berasal dari tegangan keluaran sensor kadar air gabah. Sensor kadar air gabah dirancang berdasarkan prinsip kerja sensor kapasitif dimana perubahan kapasitansi sensor dipengaruhi oleh perubahan kadar air pada gabah. Sensor kadar air gabah terdiri dari dua batang silinder dengan panjang 5 cm dan terpisah sejauh 1 cm sebagai sensor kapasitif yang dihubungkan dengan rangkaian osilator, rangkaian *low pass filter*, dan penyearah gelombang. Tegangan keluaran sensor akan dikalibrasi dengan sensor *grain moisture tester* PM-600 sehingga diperoleh grafik hubungan antara tegangan (volt) terhadap kadar air gabah (%). Grafik tersebut dijadikan acuan untuk membuat program mikrokontroler sehingga tegangan keluaran sensor dapat dikonversi menjadi besaran kadar air gabah (%). Diagram alir rancangan sensor kadar air gabah ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir sensor kadar air gabah

2. Mengkarakterisasi Sensor Kadar Air Gabah.

Pengujian dilakukan dengan mengamati tegangan keluaran sensor kadar air gabah. Langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

- Menyiapkan sampel gabah dengan nilai kadar air yang berbeda-beda.
- Menghubungkan rangkaian sensor kadar air gabah dengan *power supply*.
- Mengukur nilai kapasitansi sensor dengan LCR meter pada setiap sampel gabah.
- Mengukur frekuensi keluaran osilator dengan CRO pada setiap sampel gabah.
- Mengukur tegangan keluaran dengan multimeter pada setiap sampel gabah.
- Membuat grafik hubungan antara tegangan terhadap kapasitansi.

3. Mengalibrasi sensor kadar air gabah.

Proses kalibrasi dilakukan dengan mengamati perubahan tegangan keluaran sensor berdasarkan kadar air gabah yang diukur dengan *grain moisture tester* PM-600. Selain itu, dilakukan pula pengukuran kapasitansi sensor pada setiap sampel gabah dengan kadar air yang berbeda. Data yang diperoleh kemudian diplot untuk menghasilkan grafik hubungan antara tegangan terhadap kadar air gabah.

4. Menguji Sistem Kontrol Kadar Air Gabah.

Langkah yang dilakukan untuk menguji sistem kontrol kadar air gabah yaitu:

- Memasang sensor kadar air gabah di dalam tabung pengering.
- Mengamati kinerja sistem kontrol kadar air ketika kadar air gabah di atas *set point* yang telah ditentukan. Kinerja sistem kontrol kadar air dikatakan baik, apabila memenuhi syarat berikut:
 - Apabila kadar air gabah yang terdeteksi di atas *set point*, maka pemanas akan menyala.
 - Apabila kadar air gabah yang terdeteksi kurang dari atau sama dengan *set point*, maka pemanas akan mati. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengeringan gabah telah selesai dilakukan.
 - Apabila syarat tersebut terpenuhi, maka sistem kontrol kadar air gabah dapat digunakan untuk

mengeringkan gabah. Namun, apabila syarat tersebut belum terpenuhi, maka sistem kontrol kadar air gabah perlu diperbaiki agar sistem kontrol kadar air gabah dapat bekerja dengan baik.

5. Menentukan nilai koefisien difusi gabah

Langkah-langkah yang dilakukan untuk menentukan nilai koefisien difusi gabah adalah:

- Mengukur tekanan dan suhu dari permukaan gabah hingga jarak tertentu di atas permukaan gabah. Sensor tekanan dan suhu diletakkan di tengah-tengah tabung pengering, kemudian digeser sejauh 2 mm ke atas permukaan gabah.
- Membuat plot grafik hubungan antara tekanan terhadap jarak dan grafik hubungan antara suhu terhadap jarak, sehingga diperoleh gradien grafik yang masing-masing nilainya digunakan untuk menentukan nilai koefisien difusi gabah sesuai persamaan (1).

$$D = \left(\frac{k_f (P_{A,s} - P_{A,\infty}) \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0}}{\rho c_p (T_s - T_\infty) \frac{\partial P}{\partial y} \Big|_{y=0}} \right)^3 \frac{1}{\alpha} \quad (1)$$

Nilai k_f , ρ_f , c_p , dan α dicari dengan memanfaatkan nilai suhu dengan melihat tabel.

Teknik Analisis Data

- Menganalisis diagram blok dan fungsi transfer alat pengering gabah.

Menggambarkan diagram blok sistem kontrol kadar air gabah pada alat pengering gabah sesuai dengan aliran sinyal sistem. Kemudian mendefinisikan masing-masing *input* dan *output* setiap blok dalam sistem untuk merumuskan fungsi transfernya. Fungsi transfer setiap blok dihubungkan sesuai diagram blok yang telah digambarkan hingga diperoleh fungsi transfer sistem kontrol kadar air gabah pada alat pengering gabah.

- Menganalisis difusi massa air pada model gabah silinder.

Pemodelan bentuk gabah mempengaruhi difusi massa yang terjadi pada gabah. Model silinder dipilih karena volumenya mendekati volume riil gabah. Oleh karena itu, analisis

persamaan difusi massa menggunakan sistem koordinat silinder yaitu:

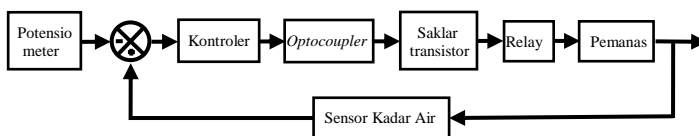
$$\nabla^2 \rho_A = \frac{1}{D} \frac{\partial \rho_A}{\partial t} \quad (2)$$

Solusi persamaan tersebut ditentukan menggunakan teknik separasi variabel dengan memandang solusi *steady-state* berupa fungsi konsentrasi terhadap posisi dengan solusi yang memenuhi persamaan differensial asli dan syarat awal $\rho_A = \rho_{A_0}(r, \phi, z)$ saat $t = 0$ dan syarat batas $\rho_A = \rho_A(r, \phi, z)$ saat $t \geq 0$, sehingga diperoleh solusi persamaan tanpa dimensi yang dapat dianalogikan berupa *moisture ratio* untuk keperluan analisis difusi massa. Kemudian, solusi persamaan diplot ke dalam grafik dengan menggunakan *software* Matlab R2009a.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Sistem kontrol kadar air gabah

Prinsip kerja sistem kontrol kadar air ditunjukkan oleh diagram blok di bawah ini:



Gambar 2. Diagram blok sistem kontrol kadar air

Berdasarkan Gambar 2, apabila *set point* kadar air telah ditentukan yaitu sebesar 14%, maka mikrokontroler akan membaca tegangan keluaran potensiometer dan sensor kadar air. Nilai tersebut akan dibandingkan untuk menentukan keluaran kontroler. Dalam hal ini mikrokontroler berperan sebagai *error detector* dan kontroler. Hasil keluaran kontroler akan masuk ke blok *optocoupler* kemudian ke blok transistor sehingga membuat transistor yang berfungsi sebagai saklar akan mencapai kondisi saturasi ataupun kondisi *cut-off*. Kondisi saturasi terjadi apabila keluaran kontroler berlogika 1 saat kadar air gabah di atas *set point* sehingga *optocoupler* akan mati dan saklar transistor akan memicu relay untuk menyalakan pemanas. Sedangkan kondisi *cut-off* terjadi apabila keluaran kontroler berlogika 0 saat kadar air gabah kurang dari atau sama dengan *set point* sehingga *optocoupler* akan menyala dan saklar transistor akan memicu relay untuk mematikan pemanas.

Proses pengeringan ini terjadi terus menerus selama sekitar 7 jam 12 menit untuk kadar air awal 21% dengan massa gabah sebesar 7 kg, hingga kadar air gabah yang terdeteksi sensor kadar air gabah mencapai *set point* yaitu 14%. Apabila kadar air gabah telah mencapai *point* 14%, maka sistem akan berhenti beroperasi.

Prinsip kerja sensor kadar air gabah

Prinsip kerja sensor kadar air gabah seperti sensor kapasitif. Pengukuran kadar air didasarkan pada perubahan konstanta dielektrik gabah sebagai bahan dielektrik yang mengandung air. Sensor kadar air gabah terdiri dari *probe* dengan diameter 0,6 cm dan panjang 5 cm (lihat Gambar 3), rangkaian osilator, rangkaian *low pass filter*, serta rangkaian penyearah gelombang. *Probe* yang berperan sebagai kapasitor dalam rangkaian osilator berfungsi untuk mendeteksi perubahan kapasitansi sensor sehingga akan mempengaruhi besar frekuensi keluaran osilator. Kemudian rangkaian *low pass filter* berfungsi untuk mengubah bentuk gelombang keluaran osilator menjadi gelombang sinusoidal. Untuk menghasilkan tegangan keluaran sensor kadar air gabah, keluaran rangkaian *low pass filter* dihubungkan dengan rangkaian penyearah tegangan yang terdiri dari diode dan rangkaian *RC*.



Gambar 3. *Probe* sensor

Ketika ruang di sekitar *probe* sebagai kapasitor diisi dengan bahan dielektrik, maka kapasitansinya akan sebanding dengan faktor ϵ_r yang merupakan konstanta dielektrik. Bahan dielektrik yang terdapat pada sensor kadar air ini adalah gabah yang konstanta dielektriknya dipengaruhi oleh molekul air yang terkandung dalam gabah. Jika molekul-molekul dalam dielektrik bersifat polar, maka dielektrik tersebut

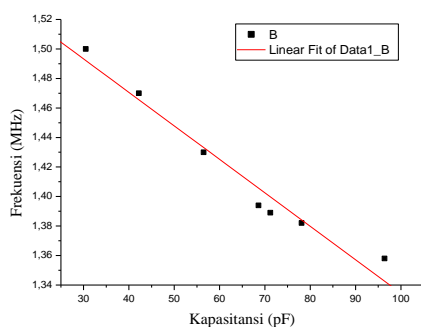
akan memiliki momen dipol permanen. Momen dipol ini secara normal tersebar acak. Adanya pengaruh medan listrik luar di antara batang kapasitor menyebabkan momen dipol menerima suatu torka yang memaksa momen dipol menyetarakan diri dengan medan listrik luar. Hal ini menunjukkan bahwa momen dipol dielektrik telah terpolarisasi oleh medan listrik eksternal, sehingga memunculkan muatan permukaan pada bidang batas dielektrik dan kapasitor. Muatan yang terikat pada dielektrik ini akan menghasilkan medan listrik yang berlawanan arah dengan medan listrik yang disebabkan oleh muatan-muatan bebas pada kedua konduktor. Akibatnya medan listrik diantara batang kapasitor menjadi lemah.

Adanya molekul air yang terkandung dalam gabah akan memberikan tambahan polarisasi pada bahan dielektrik sensor, sehingga muatan listrik yang tersimpan dalam kapasitor akan semakin banyak dan nilai kapasitansinya semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh munculnya medan listrik tambahan diantara keping kapasitor yang terdapat dalam dielektrik. Medan listrik tambahan ini arahnya berlawanan dengan medan listrik eksternal.

Berdasarkan pengujian, ketika dielektrik *probe* sensor berupa gabah yang memiliki kadar air yang tinggi, kapasitansinya akan tinggi, dan begitupun sebaliknya. Nilai kapasitansi ini dipengaruhi oleh hasil polarisasi molekul yang nilainya sebanding dengan faktor ϵ_r .

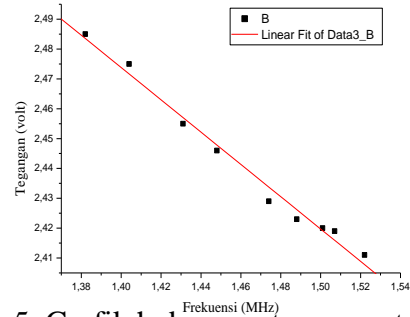
Karakteristik sensor kadar air gabah

Berdasarkan hasil analisis grafik, diketahui bahwa frekuensi keluaran osilator berkurang seiring dengan penurunan nilai kapasitansi.



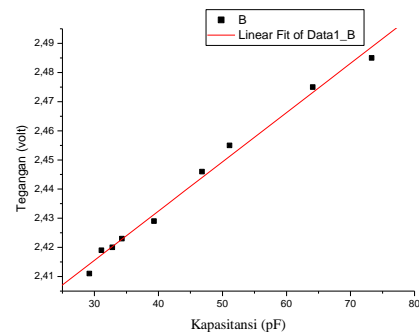
Gambar 4. Grafik hubungan frekuensi terhadap kapasitansi

Kecenderungan hasil pengukuran memiliki gradien garis negatif sebesar $(-0,0023 \pm 0,0002)$ MHz/pF. Hal ini menyatakan bahwa setiap kenaikan kapasitansi sebesar 1 pF, akan terjadi penurunan frekuensi keluaran osilator sebesar 0,0023 MHz dengan ketidakpastian 0,0002 MHz.



Gambar 5. Grafik hubungan tegangan terhadap frekuensi

Hasil analisis menyatakan bahwa kecenderungan grafik memiliki gradien negatif dengan nilai $(-0,54 \pm 0,02)$ volt/MHz. Hal ini menyatakan bahwa setiap kenaikan frekuensi sebesar 1 MHz, akan terjadi penurunan tegangan keluaran sensor sebesar 0,54 volt dengan ketidakpastian 0,02 volt.



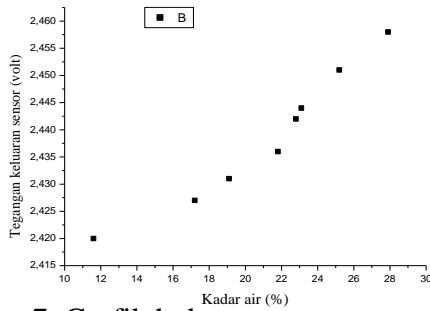
Gambar 6. Grafik hubungan tegangan terhadap kapasitansi

Hasil analisis menyatakan bahwa kecenderungan grafik memiliki gradien positif dengan nilai $(0,00169 \pm 0,00006)$ volt/pF. Hal ini menyatakan bahwa setiap kenaikan kapasitansi sebesar 1 pF, akan terjadi kenaikan tegangan keluaran sensor sebesar 0,00169 volt dengan ketidakpastian 0,00006 volt.

Kalibrasi sensor kadar air gabah

Secara teori persamaan grafik yang menggambarkan hubungan tegangan keluaran sensor terhadap kadar air berdasarkan hasil plot data pada Gambar 7 adalah:

$$v_{sensor} = v_0 e^{\gamma M} \quad (3)$$

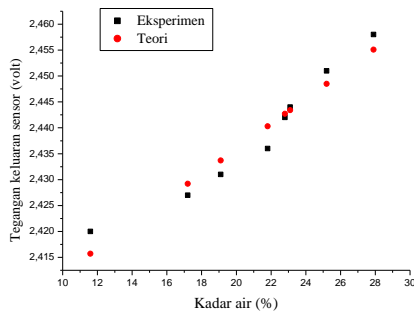


Gambar 7. Grafik hubungan tegangan sensor terhadap kadar air

Berdasarkan analisis diperoleh persamaan berikut:

$$v_{sensor} = 2,3881e^{0,0009 M} \quad (4)$$

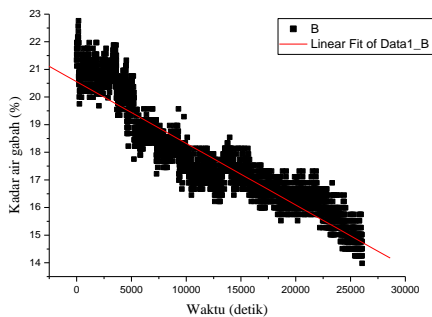
sehingga diperoleh grafik hubungan tegangan keluaran sensor terhadap kadar air secara teori dan eksperimen yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 8. Grafik hubungan tegangan keluaran sensor terhadap kadar air

Berdasarkan persamaan (4), *set point* kadar air 14% ekuivalen dengan tegangan keluaran sensor sebesar 2,42 volt.

Hubungan kadar air gabah terhadap waktu



Gambar 9. Grafik hubungan kadar air terhadap waktu

Gambar 9 menunjukkan bahwa kadar air gabah akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Kadar air gabah yang terdapat di dalam tabung pengering merupakan hasil dari proses penguapan air yang terkandung di dalam gabah. Proses penguapan disebabkan oleh *heater* yang menjadi sumber pemanas udara di dalam tabung. Kemudian udara panas tersebut dialirkan dengan *blower* sehingga terjadi proses perpindahan panas dari udara ke dalam gabah yang memicu terjadinya difusi massa air dari dalam gabah ke permukaan gabah. Kemudian air tersebut akan diuapkan ke udara sehingga kadar air gabah terus menurun hingga mencapai kadar air gabah yang diinginkan.

Difusi massa

Gabah memiliki bentuk bulat lonjong dengan nilai rata-rata panjang (9,880±0,005) mm; lebar (2,54±0,005) mm; dan tebal(1,98±0,005) mm. Bentuk gabah tersebut dapat dimodelkan dalam bentuk lain sesuai sistem koordinat yang ada. Nilai persentase yang terbesar menunjukkan pemodelan yang paling mendekati bentuk riilnya. Berikut adalah hasil perhitungan volume gabah:

Tabel 1. Data volume riil dan pemodelan gabah

Bentuk Gabah	Volume (mm ³)	Persentase (%)
Riil	34,646	100
Balok	49,534	69,9
Silinder	40,009	86,6
Bola	57,795	59,9

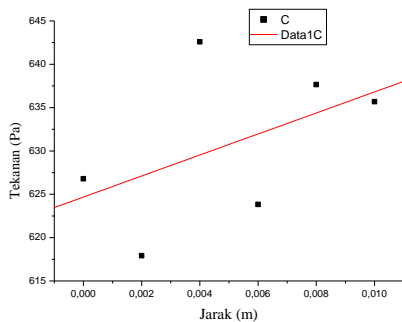
Berdasarkan tabel di atas, maka gabah dapat dimodelkan dalam bentuk silinder. Persamaan difusi massa dalam sistem koordinat silinder adalah:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \rho_A}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \rho_A}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 \rho_A}{\partial z^2} + \frac{\dot{e}}{\rho D} = \frac{1}{D} \frac{\partial \rho_A}{\partial t} \quad (5)$$

Dengan beberapa asumsi, maka solusi persamaan difusi massa air dinyatakan sebagai:

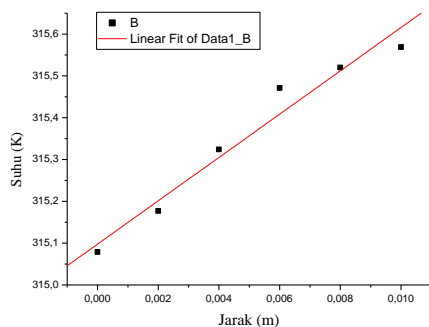
$$\frac{M}{M_0} = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{4(-1)^n}{\pi k_m J_1(k_m) \left(n + \frac{1}{2} \right)} J_0 \left(\frac{k_m}{b} r \right) \cos \left(\frac{\left(n + \frac{1}{2} \right) \pi}{L} z \right) e^{-\lambda_{mn} t} \quad (6)$$

Koefisien difusi merupakan konstanta yang mewakili nilai kecepatan pergerakan air antara gabah dan udara. Berdasarkan persamaan (1). Perolehan data tekanan di atas permukaan gabah menghasilkan grafik sebagai berikut:



Gambar 10. Grafik hubungan tekanan terhadap jarak

Hasil analisis menyatakan bahwa grafik memiliki gradien positif dengan nilai (1213 ± 1000) Pa/m. Hal ini menyatakan bahwa setiap penambahan jarak sebesar 1 m, akan terjadi kenaikan tekanan sebesar 1213 Pa dengan ketidakpastian 1000 Pa/m.

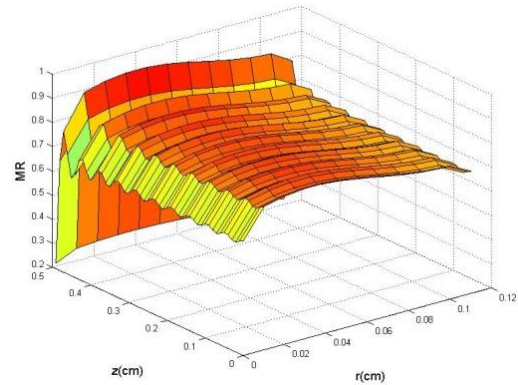


Gambar 11. Grafik hubungan suhu terhadap jarak

Hasil analisis menyatakan bahwa grafik memiliki gradien positif dengan nilai (52 ± 5) K/m. Hal ini menyatakan bahwa setiap penambahan jarak sebesar 1 m, akan terjadi kenaikan suhu sebesar 52 K dengan ketidakpastian 5 K/m.

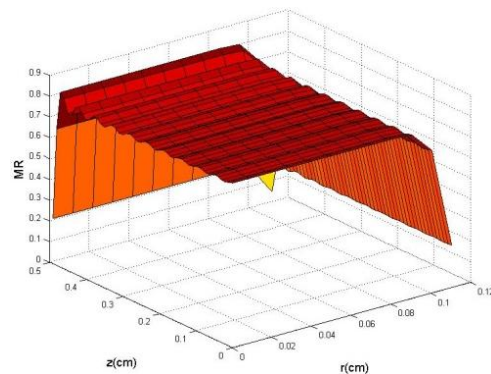
Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11, diketahui bahwa nilai $\frac{dP}{dy}$ adalah (1213 ± 1000) Pa/m dan nilai $\frac{dT}{dy}$ adalah (52 ± 5) K/m. Kemudian nilai $k_f = 0,02699$ W/m·K, $\rho = 1,109$ kg/m³, $c_p = 1007$ J/kg·K, serta $\alpha = 2,416 \times 10^{-5}$ m²/s pada film temperature 45°C. Sehingga diperoleh nilai koefisien difusi gabah sebesar $3,538 \times 10^{-8}$

m²/s (Cengel & Ghajar, 2015:926). Pola distribusi moisture ratio dalam gabah diketahui dengan memplot persamaan (6) menggunakan Matlab R2009a yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 12. Distribusi moisture ratio pada detik ke 1

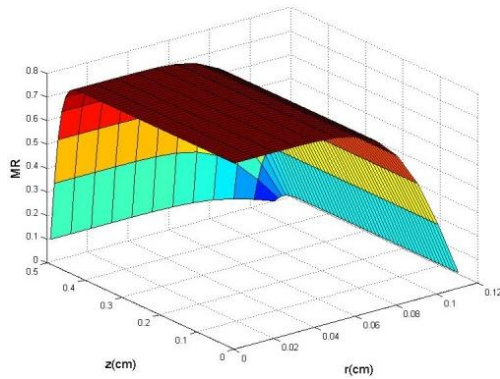
Gambar 12 menunjukkan bahwa semakin jauh posisi r dan z dari pusat koordinat, moisture ratio air semakin rendah. Selain itu, terjadi pula fluktuasi moisture ratio dari titik (0,0) hingga titik terjauh. Hal ini dikarenakan persamaan distribusi moisture ratio air adalah gabungan solusi transient dan steady-state.



Gambar 13. Distribusi moisture ratio pada detik ke 1000

Setelah 1000 detik, fluktuasi yang terjadi pada distribusi moisture ratio air dalam gabah semakin kecil, terlihat seperti Gambar 13.

Pada detik ke 8000, fluktuasi sudah tidak terlihat lagi dan tampak bahwa moisture ratio terus menurun ketika nilai r dan z semakin besar yaitu saat mendekati kulit gabah. Hal ini ditunjukkan oleh Gambar 14 berikut ini:



Gambar 14. Distribusi *moisture ratio* pada detik ke 8000

Dengan demikian, diketahui bahwa solusi *transient* persamaan difusi massa dalam model gabah silinder semakin tidak berpengaruh pada distribusi *moisture ratio* seiring bertambahnya waktu. Hal ini berkaitan dengan suku eksponensial pada solusi persamaan difusi yaitu:

$$e^{-D\left(\left(\frac{k_m}{b}\right)^2 - \left(\frac{(n+1/2)\pi}{L}\right)^2\right)t} \quad (7)$$

yang menunjukkan bahwa saat t semakin besar mengakibatkan pangkat eksponensial akan semakin bernilai negatif sehingga nilai eksponensial akan semakin mendekati nol.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem kontrol kadar air gabah pada alat pengering gabah telah dibuat sehingga dapat bekerja dengan baik sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan yaitu 14%.
2. Cara kerja sistem kontrol kadar air gabah pada alat pengering gabah yaitu apabila *set point* kadar air telah ditentukan sebesar 14%, maka mikrokontroler akan membaca tegangan keluaran potensiometer dan sensor kadar air. Nilai tersebut akan dibandingkan untuk menentukan keluaran kontroler. Hasil keluaran kontroler akan masuk ke blok *optocoupler* kemudian ke blok transistor sehingga membuat transistor yang berfungsi sebagai saklar akan mencapai kondisi saturasi atau kondisi *cut-off*. Kondisi saturasi terjadi apabila keluaran kontroler berlogika 1 saat kadar air gabah di atas *set point* sehingga *optocoupler*

akan mati dan saklar transistor akan memicu relay untuk menyalakan pemanas. Sedangkan kondisi *cut-off* terjadi apabila keluaran kontroler berlogika 0 saat kadar air gabah kurang dari atau sama dengan *set point* sehingga *optocoupler* akan menyala dan saklar transistor akan memicu relay untuk mematikan pemanas.

3. Gabah dimodelkan sebagai bentuk silinder sehingga difusi massa air dalam gabah dianalisis dalam sistem koordinat silinder dan ditunjukkan dengan nilai *moisture ratio* sebagai fungsi posisi suatu titik pada gabah yang dimodelkan dalam bentuk silinder. Pola distribusi *moisture ratio* menunjukkan bahwa *moisture ratio* mengalami penurunan disertai fluktuasi dari pusat koordinat sebagai titik awal posisi air hingga bagian permukaan gabah. Semakin bertambahnya waktu, fluktuasi makin berkurang dan membentuk pola *steady-state*.

Saran

Sistem kontrol kadar air gabah yang telah dibuat pada tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan dan masih perlu pengembangan, baik secara teoritis dan praktik. Perbaikan dan pengembangan yang perlu dilakukan adalah:

1. Sistem kontrol kadar air gabah memerlukan sebuah sensor kadar air gabah yang lebih sempurna sehingga pengukuran yang dihasilkan lebih teliti.
2. Analisis komponen dan difusi massa memerlukan beberapa variasi pengujian untuk memberikan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus A., Ghajar, Afshin J. (2015). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications (4th edition)*. New York: McGraw-Hill Education
- Kementerian Pertanian. (2014). *Penanganan Pasca Panen Padi*. Jakarta: Direktorat Pascapanen Tanaman Pangan.

Mujumdar, Arun. S. (2006). *Handbook of Industrial Drying (3rd edition)*. Florida: CRC Press.

Nusyirwan. (2014). Kajian Pengeringan Gabah dengan Wadah Pengering Berbentuk

Rancang Bangun Sistem ... (Adilia Rismawati) 56
Silinder dan Mekanisme Pengaduk Putar.
Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cylinder,
1(2), 45-52.