

Visualisasi Estimasi Distribusi Temperatur Menggunakan Metode Elemen Hingga Pada Prototype Mesin Pengering Gabah Elektronik

Elly Purwantini, Ronny Susetyoko, David Mahendra
Jurusan Teknik Elektronika PENS – ITS, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Electronics Engineering Polytechnic Institute of Surabaya
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
ely@eepis-its.edu, rony@eepis-its.edu, mahendra.david@gmail.com

Abstrak

Sebagai bahan baku dari makanan pokok sebagian besar masyarakat Indonesia, gabah memegang peranan penting dalam ketersediaan pangan di Indonesia. Beras merupakan bahan pangan pokok bagi sebagian besar masyarakat Indonesia. Tapi sampai saat ini proses pengolahan padi masih sangat kurang. Terlebih lagi pengolahan pasca panen. Diperkirakan tingkat kehilangan pasca panen hasil pertanian ini mencapai sekitar 20 % dari total produksi. Salah satu pengolahan pasca panen yang perlu di benahi adalah sistem pengeringan gabah. Dimana masih memanfaatkan panas matahari oleh karena itu dibutuhkan alat pengering buatan yang tidak tergantung lagi terhadap panas matahari sebagai tenaga pengering

Namun mesin pengering selama ini belum mampu menyesuaikan suhu, sehingga terdapat kemungkinan mempengaruhi kondisi gabah. Suhu yang terlalu lembab akan membuat gabah menjadi busuk dan rusak. Hal seperti ini terjadi karena suhu di ruang pengering tidak diketahui secara menyeluruh. Oleh karena itu dalam penelitian ini diterapkan sebuah metode monitoring pada prototype pengering gabah dengan melakukan estimasi temperatur pada titik-titik yang belum diketahui temperaturnya. Dengan menggunakan metode elemen hingga atau *Finite Element Method (FEM)* dapat diketahui distribusi temperatur pada ruang pengering gabah tersebut. Hasil estimasi distribusi temperatur ditampilkan dalam bentuk visual. Kemudian dari perhitungan estimasi ini akan didapatkan rata-rata suhu di ruang pengering yang dapat menjadi referensi sistem untuk pengontrolan pemanas.

Dengan adanya visualisasi dari sistem ini maka pengamatan terhadap distribusi temperatur dalam prototype ini dengan mudah dapat dilakukan.

Kata kunci: *metode elemen hingga, visualisasi*

1. Pendahuluan

Gabah merupakan salah satu produk hasil pertanian yang penting bagi ketersediaan bahan pangan di Indonesia. Karena dari gabah tersebut akan dihasilkan beras yang merupakan bahan pangan pokok sebagian

besar masyarakat Indonesia. Ketersediaan pangan tersebut akan terganggu apabila bahan pangan tersebut mengalami penurunan kualitas ataupun tidak layak untuk diolah lagi menjadi beras. Hal ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor antara lain proses pengeringan gabah pasca panen. Gabah perlu dikeringkan terlebih dahulu sebelum dioalah menjadi beras atau disimpan, hal ini dilakukan untuk mengurangi kadar air yang ada agar tidak membusuk dan terhindar dari kutu. Pada umumnya gabah pasca panen harus dikeringkan hingga mencapai kelembaban 14%. [1]

Proses pengeringan selama ini menggunakan beberapa cara antara lain menggunakan bantuan sinar matahari dan mesin pengering. Namun beberapa proses tersebut terkadang tidak berjalan semestinya, misal apabila menggunakan bantuan sinar matahari dan terjadi hujan maka proses pengeringan menjadi terganggu karena kadar air gabah malah bertambah. Proses pengeringan dengan menggunakan sinar matahari juga memerlukan SDM yang banyak dan waktu yang lama karena harus berkali-kali melewati proses menjemur, menjaga proses pengeringan agar gabah tidak dimakan oleh hewan, membolak-balik gabah agar kering secara merata dan *packing*. Sedangkan pada mesin pengering konvensional pemanasan cenderung tidak stabil dan tidak merata di dalam ruang pengeringnya sehingga gabah di dalamnya juga tidak kering secara merata dan rusak sebagian. Proses pengeringan seperti diatas sebenarnya dapat diatasi dengan meratakan distribusi temperatur di dalam mesin pengering berdasarkan monitoring suhu yang terjadi saat pengeringan.

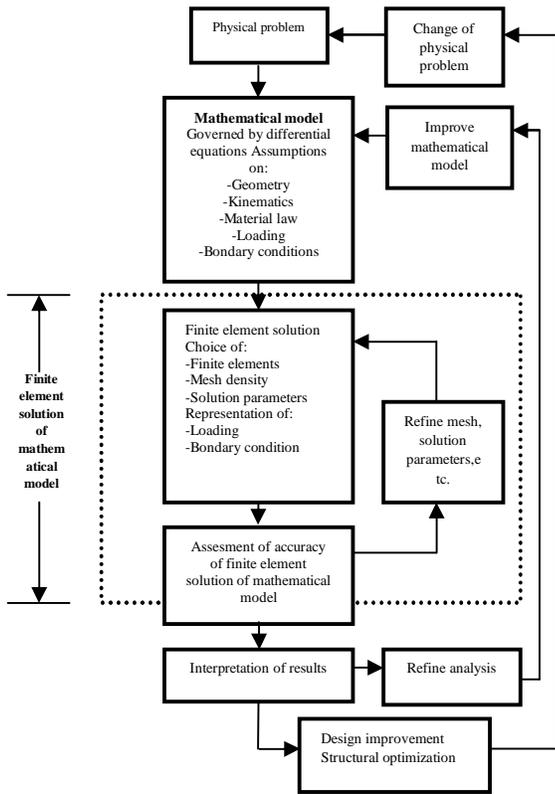
Oleh karena itu dalam penelitian ini dibuat sebuah sistem untuk monitoring distribusi temperatur ruang *prototype* mesin pengering gabah dengan menggunakan metode estimasi elemen hingga. Hasil estimasi akan menghasilkan nilai rata-rata yang digunakan untuk umpan balik ke sistem kontrol sehingga diharapkan temperatur pada ruang pengering gabah selalu stabil dan proses pengeringan menjadi merata .

2. Tinjauan Pustaka

Salah satu penggunaan metode elemen hingga dapat dilihat dalam sebuah jurnal mengenai distribusi temperatur ruangan berjudul "*Pengaruh Posisi Difuser dan Variasi Kecepatan Udara Masuk terhadap Distribusi*

Temperatur Ruang Terkondisi (Sebuah Studi Numerik) [2]. Dalam jurnal tersebut dengan menggunakan metode elemen hingga diketahui bahwa distribusi temperatur dalam ruang tersebut dipengaruhi oleh penempatan posisi diffuser dan kecepatan udara masuk. Penelitian dilakukan dengan metode numerik sebagai langkah awal untuk mengetahui pola distribusi temperatur pada penelitian ini. Dari hasil simulasi numerik ini diharapkan dapat dianalisis penyebaran temperatur di ruangan untuk berbagai posisi difuser dan kecepatan udara masuk.

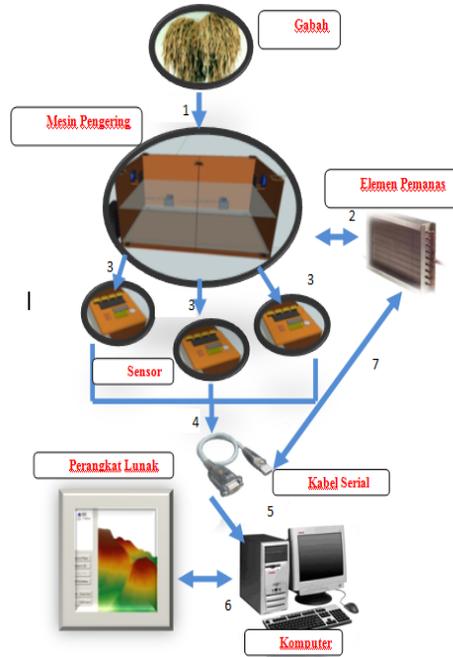
Secara singkat peranan FEM dalam dunia teknik maupun design digambarkan dengan chart berikut (Bathe, J.K. Finite Element Procedures)[4].



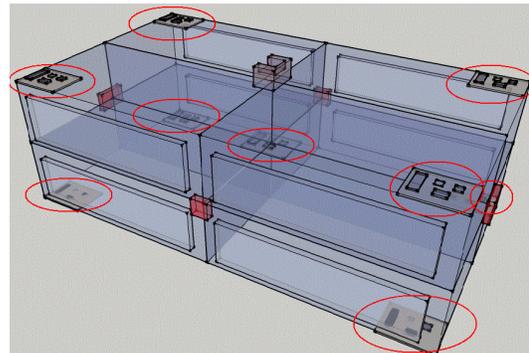
Gambar 1. Chart Analisis FEM[4]

3. METODE PENELITIAN

Blok diagram pada gambar 2 merupakan blok diagram keseluruhan sistem yang akan kami kerjakan nantinya. Gambaran umum perencanaan sistem dalam penelitian ini dimulai dari penentuan model dari physical model prototype mesin pengering gabah yang sudah dibuat.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem



Gambar 3. Physical Model

3.1. Permodelan sistem

Untuk memperoleh data estimasi temperatur di sekitar 9 titik pada model tersebut maka informasi data perlu diperluas dengan cara *men-generate* 9 data menjadi model yang lebih kompleks. Sehingga dari *physical model* yang ada kemudian dibagi menjadi dua perencanaan kembali dengan metode Elemen Hingga atau *Finite Element Method* (FEM) yang dibagi menjadi 2 bagian yaitu:

- perencanaan model matematis
- perencanaan estimasi distribusi

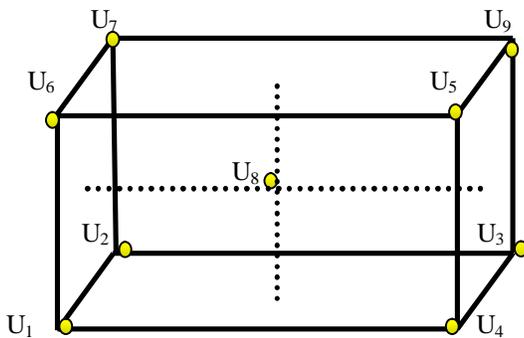


Gambar 4. Blok diagram penentuan model

Penentuan model matematis yang akan digunakan sangat tergantung dari bentuk *physical model* yang akan diamati. Sebelum merubah ke dalam bentuk matematis diperlukan suatu fungsi basis terlebih dahulu untuk mendefinisikan model yang diamati tersebut. Dengan menggunakan FEM dari *physical model* dapat ditentukan fungsi basis apa yang akan digunakan. Misalkan model yang akan diamati merupakan bidang datar atau 2 dimensi maka fungsi basis yang digunakan adalah fungsi basis bilinear. Pada penelitian ini model yang akan diamati yaitu *prototype* mesin pengering gabah yang berbentuk balok yang dikategorikan sebagai model 3 dimensi, sehingga fungsi basis yang digunakan adalah fungsi basis trilinear.

3.1.1. Menentukan *Physical Model*

Gambar 5 merupakan kerangka dari *physical model* yang akan dirubah ke dalam bentuk matematis. Titik-titik kuning merupakan *node* yang sudah diketahui nilainya.



Gambar 5. Kerangka *physical model*

3.1.2. Menentukan Fungsi Basis

Setelah menentukan *node-node* yang akan diamati maka kerangka *physical model* tersebut dirubah ke dalam bentuk matematis dengan menentukan terlebih dahulu fungsi basis yang akan digunakan. Perhitungan yang digunakan dalam menentukan fungsi basis trilinear yaitu:

$$\bullet \varphi_1(\xi_1, \xi_2, \xi_3) = (1 - \xi_1)(1 - \xi_2)(1 - \xi_3) \quad (1)$$

$$\bullet \varphi_2(\xi_1, \xi_2, \xi_3) = \xi_1(1 - \xi_2)(1 - \xi_3) \quad (2)$$

$$\bullet \varphi_3(\xi_1, \xi_2, \xi_3) = (1 - \xi_1)\xi_2(1 - \xi_3) \quad (3)$$

$$\bullet \varphi_4(\xi_1, \xi_2, \xi_3) = \xi_1\xi_2(1 - \xi_3) \quad (4)$$

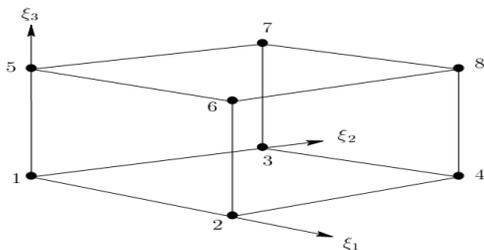
$$\bullet \varphi_5(\xi_1, \xi_2, \xi_3) = (1 - \xi_1)(1 - \xi_2)\xi_3 \quad (5)$$

$$\bullet \varphi_6(\xi_1, \xi_2, \xi_3) = \xi_1(1 - \xi_2)\xi_3 \quad (6)$$

$$\bullet \varphi_7(\xi_1, \xi_2, \xi_3) = (1 - \xi_1)\xi_2\xi_3 \quad (7)$$

$$\bullet \varphi_8(\xi_1, \xi_2, \xi_3) = \xi_1\xi_2\xi_3 \quad (8)$$

Node trilinear sendiri dapat digambarkan seperti gambar 6.



Gambar 6. Elemen 8 node Trilinear

3.2. Menentukan matriks stiffness

Dari fungsi basis yang ada kemudian ditentukan *matriksstiffness lokal* dari tiap-tiap *node* menggunakan rumus:

$$E_{mn} = \int_0^1 \int_0^1 \int_0^1 (k(\frac{du}{dx} \frac{dw}{dx} + \frac{du}{dy} \frac{dw}{dy} + \frac{du}{dz} \frac{dw}{dz})) d\xi_1 d\xi_2 d\xi_3 \dots (9)$$

Sehingga dari perhitungan rumus diatas akan didapatkan matiks seperti di bawah ini.

$$\begin{bmatrix}
 0.3333 & 0 & 0 & -0.0833 & 0 & -0.0833 & -0.0833 & -0.0833 \\
 0 & 0.3333 & -0.0833 & 0 & -0.0833 & 0 & -0.0833 & -0.0833 \\
 0 & -0.0833 & 0.3333 & 0 & -0.0833 & -0.0833 & 0 & -0.0833 \\
 -0.0833 & 0 & 0 & 0.3333 & -0.0833 & -0.0833 & -0.0833 & 0 \\
 0 & -0.0833 & -0.0833 & -0.0833 & 0.3333 & 0 & 0 & -0.0833 \\
 -0.0833 & 0 & -0.0833 & -0.0833 & 0 & 0.3333 & -0.0833 & 0 \\
 -0.0833 & -0.0833 & 0 & -0.0833 & 0 & -0.0833 & 0.3333 & 0 \\
 -0.0833 & -0.0833 & -0.0833 & 0 & -0.0833 & 0 & 0 & 0.3333
 \end{bmatrix}$$

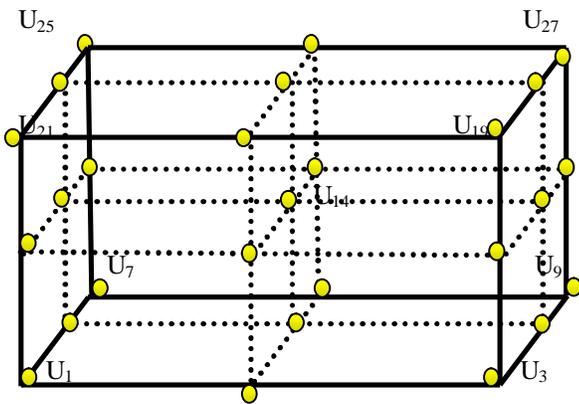
Gambar 7. Matriks Stiffness Lokal

3.3. Perhitungan Estimasi Distribusi Temperatur

Sebelum melakukan perhitungan estimasi yang perlu dilakukan terlebih dahulu yaitu memadankan *physical model* yang ada dengan jumlah titik yang ingin diamati atau diestimasi. Oleh karena itu dalam penelitian ini *physical model* yang semula memiliki dimensi 100cm x 60cm x 60cm disimulasikan menjadi 19 x 13 x 13 pada model perhitungan. Sehingga jumlah titik yang diestimasi yang diestimasi secara keseluruhan yaitu 3211 titik dengan 27 titik diantaranya diestimasi dengan metode elemen hingga.

3.3.1. Estimasi dengan Metode Elemen Hingga

Gambar 8 merupakan titik pengamatan estimasi menggunakan FEM yang semula berjumlah 9 diperluas menjadi 27 titik. Selanjutnya, data sensor yang diletakkan pada node U_1-U_9 dan *matriks stiffness global* digunakan untuk menghitung estimasi di sekitar titik pengamatan tersebut.



Gambar 8. Titik pengamatan hasil perhitungan FEM

Dari 27 titik yang akan diestimasi dengan menggunakan perhitungan seperti pada gambar 9. Maka hasil estimasi berdasarkan FEM dapat diketahui.

$$\begin{bmatrix} K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U'_1 \\ \vdots \\ U'_9 \\ \vdots \\ U'_{27} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 \\ \vdots \\ U_9 \\ \vdots \\ U_{27} \end{bmatrix}$$

Gambar 9. Perhitungan Estimasi dengan FEM

Keterangan:

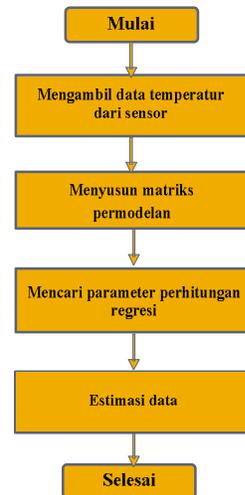
K : Matriks Stiffness Global

U_1-U_{27} : Data Sensor (titik pengamatan)

$U'_1-U'_{27}$: Data Estimasi

3.3.2. Estimasi dengan metode Regresi

Untuk melakukan perbandingan estimasi data, selain menggunakan metode elemen hingga pada 3211 titik yang lain digunakan metode regresi. Proses estimasi data menggunakan regresi sendiri dapat diketahui pada gambar 10.

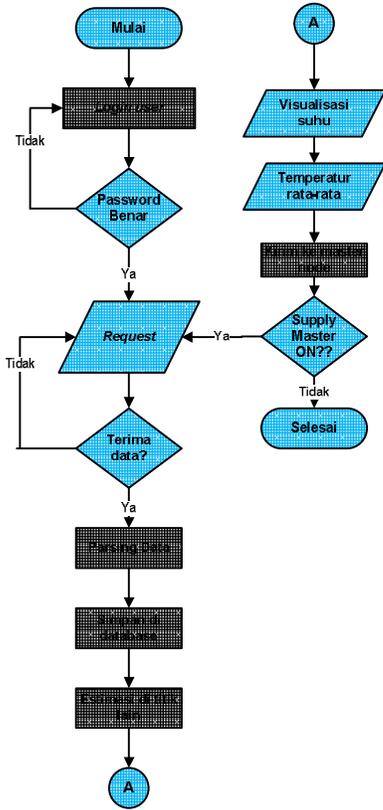


Gambar 10. Perencanaan perhitungan dengan regresi

3.4. Perencanaan Perangkat Lunak (*software*)

Untuk melihat bagaimana perhitungan estimasi baik menggunakan FEM atau regresi maka diperlukan sebuah perangkat lunak untuk memonitoring proses estimasi tersebut.

Perancangan perangkat lunak sendiri dibuat dengan Microsoft Visual Basic 6.0. Dalam proses pengambilan data perangkat lunak diterapkan pada *prototype* pengering gabah sesuai dengan *physical space* yang telah dirancang. Alur program yang digunakan dapat dilihat pada *flowchart* gambar 11.



Gambar 11. Flowchart komunikasi software dengan master node.

4. Pengujian Sistem

4.1. Pengujian Simulasi Sistem

- **Tujuan**
Tujuan dari pengujian simulasi sistem yaitu untuk mengetahui apakah sistem nanti dapat bekerja dengan baik pada kondisi yang sebenarnya.
- **Setting Pengujian**
Memberikan input acak dengan range yang bervariasi pada program simulasi sehingga didapatkan output data berupa hasil estimasi di sekitar node. Input yang diberikan tidak lebih dari 70 °C, hal ini disesuaikan dengan sistem sebenarnya yang mempunyai range temperatur < 70°C.
- **Hasil Pengujian**

Tabel 1. Pengujian Simulasi Estimasi
Range Input: 35-70°C

Node	Data Sensor	Hasil Estimasi		% Error	
		FEM	Regresi	FEM	Regresi
1	68	68	50.33943352	0	23.97142129
2	48	48	47.83850952	0	0.3364385
3	53	53	47.319991	0	10.71699811
4	62	62	49.820915	0	19.64368548
5	37	37	49.13380482	0	32.79406707
6	56	56	49.65232333	0	11.3351369
7	51	51	47.15139933	0	7.546275817
8	45	45	48.48615717	0	7.747015929
9	57	57	46.63288082	0	18.18792839

Tabel 2. Pengujian Simulasi Estimasi
Range Input: 50-70°C

Node	Data Sensor	Hasil Estimasi		% Error	
		FEM	Regresi	FEM	Regresi
1	63	63	63.10305027	0	0.163572
2	55	55	64.69261236	0	17.62293
3	56	56	64.2759457	0	14.77847
4	67	67	62.68638361	0	6.438233
5	66	66	62.36786866	0	3.503229
6	62	62	62.65207182	0	1.051729
7	70	70	64.24163391	0	8.226237
8	68	68	63.46400876	0	6.670575
9	55	55	63.82496725	0	16.04539

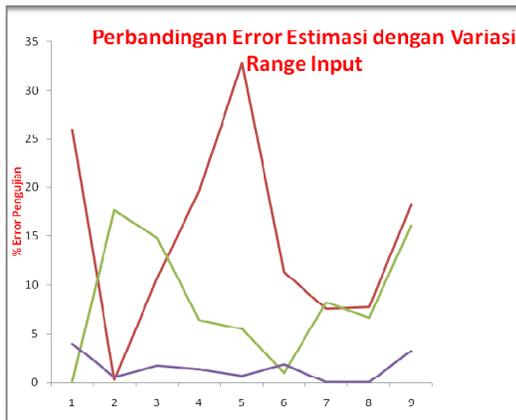
Tabel 3. Pengujian Simulasi Estimasi
Range Input: 65-70°C

Node	Data Sensor	Hasil Estimasi		% Error	
		FEM	Regresi	FEM	Regresi
1	70	70	67.17976511	0	4.028907
2	67	67	67.40599684	0	0.605965
3	66	66	67.17451535	0	1.779569
4	66	66	66.94828363	0	1.436793
5	66	66	66.49433517	0	0.748993
6	68	68	66.72581666	0	1.873799
7	67	67	66.95204838	0	0.07157
8	67	67	66.95016601	0	0.074379
9	69	69	66.7205669	0	3.303526

• **Analisa**

Hasil simulasi perhitungan estimasi diatas menggunakan 2 metode yaitu FEM dan regresi. Metode FEM digunakan untuk estimasi temperatur di 27 titik, sedangkan metode regresi digunakan untuk estimasi pada 3211 titik (19x13x13). Pada data hasil estimasi ditemukan adanya *error* perhitungan data. Dalam menghitung *error* tersebut digunakan rumus:

$$\%error = \left[\frac{Input\ data\ sensor - Data\ hasil\ estimasi}{Input\ data\ sensor} \right] \times 100\%$$



Gambar 12. Grafik perbandingan *error* estimasi dengan Regresi

4.2 Pengujian model FEM dan Regresi pada *prototype*

• **Tujuan**

Untuk mengetahui penerapan estimasi dengan menggunakan FEM dan Regresi *prototype* pengering gabah.

• **Setting pengujian**

- Pengujian dilakukan dengan menggunakan *notebook*(sebagai pengganti PC) yang dihubungkan serial dengan *master node* (mikro ATMEGA 162) menggunakan kabel *USB to serial* (RS-232) dan dicoba menggunakan *software* yang dibuat dengan Visual Basic.
- Paket data dikirimkan secara terus menerus oleh tiap-tiap *node* dengan delay yang teratur.
- Data pengujian diambil pada saat ruang pengering dalam keadaan tidak dipanasi dan dipanasi dengan *heater*.

• **Hasil Pengujian**

Hasil pengujian FEM dan regresi pada *prototype* mesin pengering gabah dapat dilihat pada tabel 4 dan 5

Tabel 4. Pengujian Estimasi pada kondisi normal

no	Data Sensor	Hasil estimasi		Error	
		FEM	Regresi	FEM	Regresi
1	32	0	35.56111	0	11.12846
2	31	0	36.4794	0	17.67548
3	32	0	36.76643	0	14.89511
4	31	0	35.84814	0	15.63917
5	42	0	40.16734	0	4.363487
6	41	0	39.8803	0	2.730979
7	37	0	40.79859	0	10.26646
8	39	0	38.32337	0	1.734958
9	47	0	41.08563	0	12.58377

Tabel 5. Pengujian Estimasi pada kondisi pemanas menyala

no	Data Sensor	Hasil estimasi		Error	
		FEM	Regresi	FEM	Regresi
1	30	30	30.88881	0	2.962691
2	31	31	31.00564	0	0.018179
3	30	30	31.14452	0	3.815082
4	29	29	31.0277	0	6.992055
5	32	32	32.50488	0	1.577765
6	33	33	32.366	0	1.921224
7	32	32	32.48282	0	1.508826
8	33	33	31.75526	0	3.771939
9	35	35	32.62171	0	6.795105

5. Kesimpulan

Setelah melakukan tahap perancangan dan pembuatan sistem yang kemudian dilanjutkan dengan tahap pengujian dan analisa maka pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Penerapan parsing data terhadap paket data dengan jumlah 71 karakter yang dikirimkan oleh *master node* dengan *baudrate* 9600 memiliki tingkat keberhasilan 99%.
- Pada suhu ruangan yang normal estimasi dengan menggunakan FEM memberikan data estimasi di 27 titik memiliki tingkat keberhasilan 99,7%. Apabila dalam proses

- pengeringan estimasi menggunakan FEM memiliki tingkat keberhasilan 98,2%.
3. Penerapan metode regresi dalam kondisi suhu ruang memiliki tingkat keberhasilan 99,3%. Dalam proses pengeringan memiliki tingkat keberhasilan 98%.
 4. Metode regresi yang diterapkan pada penelitian ini dengan *range* input 65-75 °C memiliki error terkecil yaitu kurang dari 4 %.
 5. Pengiriman temperatur rata-rata hasil estimasi ke *master node* telah sesuai dengan harapan karena memiliki tingkat keberhasilan 100% .

Referensi

- [1] Sutrisno dan Suhanan. *Karakterisasi Laju Pengeringan Gabah Dengan Aliran Konveksi Paksa*. Jurnal Mesin dan Industri, Volume 2, Nomor 3, Edisi September 2005.
- [2] Soedjono Denny M E, Sarsetiyanto Joko. *Pengaruh Posisi Difuser dan Variasi Kecepatan Udara Masuk terhadap Distribusi Temperatur Ruang Terkondisi (Sebuah Studi Numerik)* . JURNAL TEKNIK MESIN Vol. 8, No. 1, April 2006: 1 – 7
- [3] Supriyono.2005. *Aplikasi Metode Elemen Hingga Untuk Perhitungan Perambatan Panas Pada Kondisi Tunak*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi.
- [4] Kuntjoro, Wahyu. *An Introduction to the Finite Element Method*. McGraw-Hill Education
- [5] BATHE, J.K. *FINITE ELEMENT PROCEDURES*.
- [6] Agustri Akhirta , Silvi .2009. *Perencanaan Dan Penerapan Algoritma Komunikasi Jaringan Sensor Nirkabel Dengan Media Komunikasi InfraMerah Pada Sistem Informasi Parkir Lantai Banyak*. Penelitian: Teknik Elektronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-Institut teknologi Sepuluh Nopember
- [7] Rizalani Arif, Ridla.2009 *Rancang Bangun Prototipe Node Jaringan Sensor Nirkabel Dengan Media Komunikasi Infra Merah Untuk Akuisisi Data Pada Sistem Informasi Parkir Lantai Banyak*. Penelitian: Teknik Elektronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-Institut teknologi Sepuluh Nopember
- [8] Mas Suhendra, Ardian. 2010. *Visualisasi Dan Monitoring Lokasi Kebakaran Pada Security Room*. Penelitian: Teknik Elektronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-Institut teknologi Sepuluh Nopember
- [9] http://www.wikipedia.com/Finite_element_method.htm diakses pada tanggal 23 Juli 2010