

# Pemodelan Temperatur Ruang Menggunakan Regresi Non Linier Berdasarkan Hasil Estimasi FEM 3-D Linier

Elly Purwantini, Ronny Susetyoko

Program Studi Teknik Elektronika, Departemen Elektro

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

[elly@eepis-its.edu](mailto:elly@eepis-its.edu), [ronny@eepis-its.edu](mailto:ronny@eepis-its.edu)

**Abstrak** – Dalam makalah ini dilakukan pemodelan temperatur ruang menggunakan pendekatan regresi non linier dalam dimensi spasial dan waktu. Sebagai ruang percobaannya yaitu prototipe mesin pengering gabah elektronik. Dari *physical model*, diletakkan 8 sensor temperatur untuk mengukur dinamika temperatur dan satu sensor di tengah sebagai node pengujian (*test node*). Sedangkan *mathematical model* yang digunakan adalah Finite Element Method (FEM) dengan fungsi basis linier tiga dimensi (3-D). Matriks stiffness lokal berukuran (8x8) diperoleh dari persamaan panas berdasarkan fungsi basis yang ditentukan. Matriks stiffness global disusun berdasarkan matriks stiffness lokal, yang selanjutnya digunakan untuk mengestimasi temperatur node-node disekitarnya berdasarkan 8 node temperatur yang telah diketahui. Selanjutnya hasil estimasi temperature tersebut dibandingkan dengan hasil estimasi menggunakan regresi non linier. Node pengujian merupakan node yang digunakan untuk menguji kinerja dari pemodelan yang dibuat

Kata Kunci : *FEM 3-D Linier, matriks stiffness, regresi non linier*

## 1. PENDAHULUAN

*Finite Element Method* (FEM) atau metode elemen hingga pada awalnya merupakan kebutuhan untuk memecahkan permasalahan elastisitas yang kompleks dan masalah analisis struktural di dalam sipil dan aeronautical engineering. FEM adalah salah satu metode numerik yang paling banyak dipakai di dunia teknik seperti sipil, mesin, penerbangan, mikroelektronik, bioengineering dan material, yang hingga kini masih tetap dipakai, bahkan makin disukai. Metode ini berusaha memecahkan *partial differential equations* dan persamaan integrasi lainnya yang dihasilkan dari hasil diskritisasi benda kontinum. Meski berupa pendekatan, metode ini dikenal cukup ampuh memecahkan struktur-struktur yang kompleks dalam analisis mekanika benda padat (*solid mechanics*) dan perpindahan panas (*heat transfer*).

Sudah banyak peneliti yang telah melakukan penelitian menggunakan FEM. Soedjono dan Sarsetiyanto[1] meneliti tentang pengaruh posisi difuser dan variasi kecepatan udara masuk terhadap distribusi temperatur ruang terkondisi. Tujuannya untuk mengetahui pola distribusi temperatur. Dari hasil simulasi numerik ini diharapkan dapat dianalisis penyebaran temperatur di ruangan untuk berbagai posisi difuser dan kecepatan udara masuk.

Sekiguchi[2] meneliti tentang estimasi arus sungai Arawaka menggunakan Kalman Filter FEM. Kalman Filter digunakan untuk analisis deret waktu, sedangkan FEM untuk analisis ruang. Hasil penelitian tersebut adalah nilai estimasi ketinggian air sudah cukup bagus, hanya ada sedikit perbedaan kecepatan. *Boundary condition* (kondisi

batas) sangat berpengaruh terhadap hasil estimasi. Kekurangan yang lain dari penelitian ini yaitu mesh elemen hingganya terlalu besar dan waktu komputasi lama.

Sedangkan dalam penelitian Saragi dan Utaja [3], FEM digunakan untuk menganalisis perubahan ukuran dan bentuk bimetal (regangan dan tegangan). Dalam penelitian tersebut diuraikan analisis material bimetal yang berdimensi dua menggunakan FEM untuk menghitung jarak perpindahan ujung bahan dan tegangan (*stress*) yang timbul dan mengaplikasikannya menggunakan software ANSYS.

Dalam penelitian ini FEM 3-D linier digunakan untuk mengestimasi temperatur di beberapa titik ruang berdasarkan beberapa kondisi batas yang sudah diketahui. Selanjutnya hasil estimasi digunakan untuk memodelkan karakteristik temperatur ruang secara dinamis berdasarkan dimensi spasial dan waktu. Studi kasus yang digunakan adalah temperatur ruang prototype mesin pengering gabah elektronik. Berdasarkan model persamaan terbaik yang telah diseleksi dapat diprediksi pola karakteristik temperatur ruang, sehingga bermanfaat sebagai umpan balik untuk pengaturan temperatur ruang.

## 2. METODE ELEMEN HINGGA

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*, FEM) adalah suatu metode numerik dengan tujuan memperoleh pemecahan pendekatan dari suatu persamaan diferensial parsial (*Partial Differential Equation*, PDE). Meskipun cikal bakal teori FEM sudah ada sejak tahun 1940-an, baru pada tahun 1970-an metode ini dirumuskan secara formal. Pada awalnya metode ini digunakan dibidang teknik penerbangan untuk perhitungan kekuatan bangun-raga (*structure*) pesawat pada industri pesawat terbang. Tetapi dewasa ini FEM telah diterapkan dalam berbagai persoalan teknik: seperti struktur, dinamika fluida, perpindahan panas, akustik, maupun elektromagnetik.

Metode elemen hingga pertama kali dikembangkan pada tahun 1943 oleh R. Courant, yang memanfaatkan metode Ritz analisis numerik dan minimalisasi variasional kalkulus untuk mendapatkan solusi perkiraan untuk sistem getaran. Tak lama kemudian, makalah yang diterbitkan pada tahun 1956 oleh MJ Turner, RW Clough, HC Martin, dan LJ Topp membentuk definisi yang lebih luas dari analisis numerik.

Keadaan aliran udara di ruangan dapat dimodelkan secara memuaskan dengan hukum kekekalan massa, momentum dan energi. Sistem permodelan matematis ini kemudian digunakan untuk merancang permodelan sebenarnya dengan bentuk 3 dimensi. Hukum tersebut dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut :

Persamaan kekekalan massa:

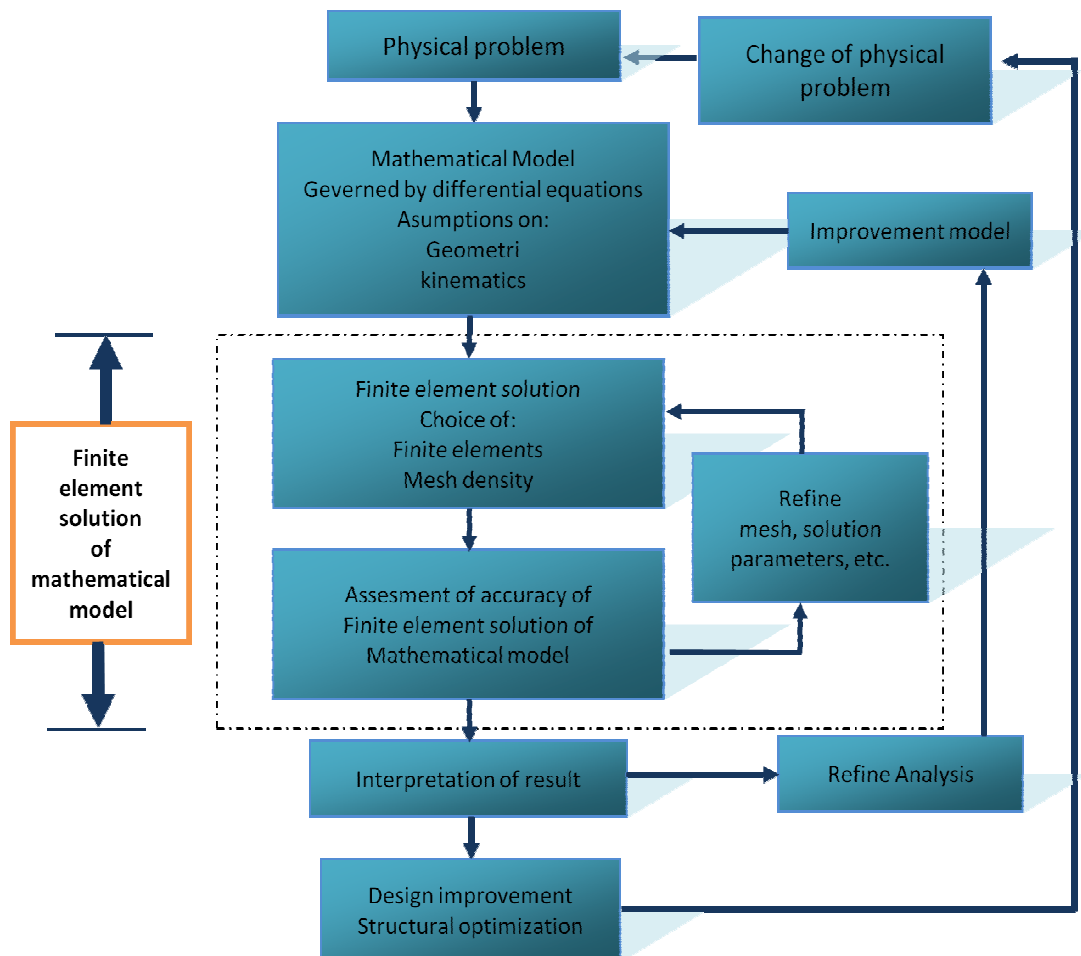
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Persamaan momentum kearah sumbu x:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

Persamaan Energi:

Dari permodelan secara matematis diatas kemudian digunakan untuk mengetahui pola distribusi temperatur yang ada di ruangan ataupun dengan model simulasi numerik yang sudah dirancang. Namun secara singkat peranan FEM dalam dunia teknik maupun desain digambarkan dengan chart berikut (*Bathe, J.K. Finite Element Procedures*)[4].



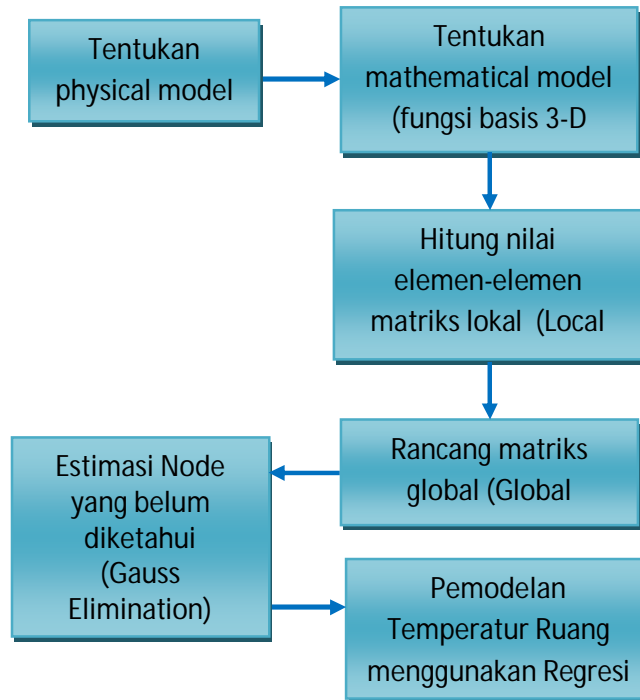
Gambar 1. Chart Analisis FEM[4]

Dengan dilaksanakannya penelitian ini, maka penelitian tentang estimasi menggunakan FEM (baik 2-D maupun 3-D) dapat dikembangkan untuk permasalahan lain seperti merancang bentuk material, merancang sirkulasi udara, estimasi temperatur tubuh, estimasi temperatur/kelembaban udara dalam suatu wilayah, serta estimasi bidang/ruang yang juga memperhitungkan variabel lain seperti : kecepatan angin, kelembaban, dan sebagainya.

### 3. METODOLOGI

Penentuan model matematis yang 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 bilinier. 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.

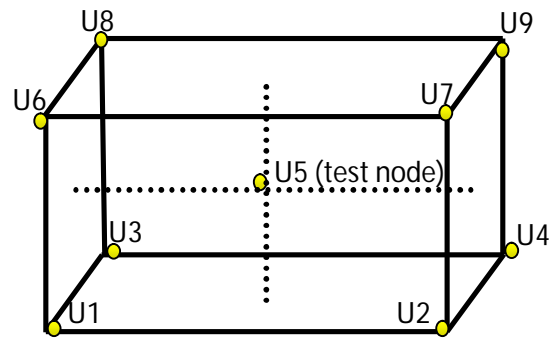


Gambar 2. Alur perencanaan model matematis

Model matematis sendiri diperlukan untuk mengubah informasi dari *physical model* menjadi bentuk matematis. Dengan kata lain bentuk matematis ini digunakan untuk mensimulasikan data yang didapat dari bentuk fisik (*prototype*) yang ada. Bentuk matematis model tersebut secara umum diubah ke dalam bentuk matriks 3D dimana setiap matriks mewakili posisi pada model sebenarnya atau dalam hal ini pada *prototype* mesin pengering gabah. Untuk mendefinisikan posisi tersebut digunakan matriks lokal dan matriks *stiffness* global.

### 3.1 Physical Model

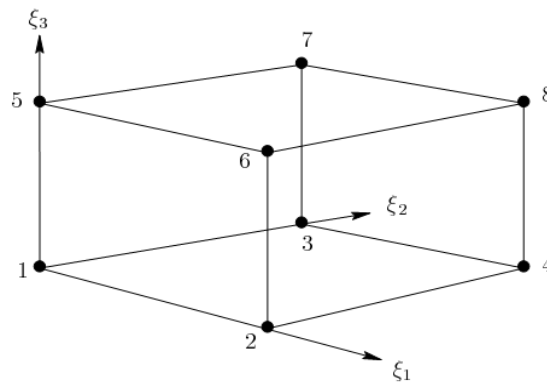
Model fisik (*physical model*) dalam penelitian ini berbentuk balok ukuran (100 x 60 x 60) cm. seperti yang disajikan pada Gambar 3. Dari gambar tersebut, titik yang berwarna kuning merupakan letak node yang akan diamati perubahan temperaturnya. Untuk node yang berada di tengah (*test node*) digunakan sebagai node uji, yang akan dibandingkan dengan hasil estimasi.



Gambar 3. Kerangka *physical model*

### 3.2 Mathematical Model (Fungsi Basis)

Fungsi basis merupakan fungsi dari metode elemen hingga yang digunakan untuk mendefinisikan model yang akan diamati. Dalam penelitian ini digunakan fungsi basis trilinear. Gambar 4. merupakan elemen trilinear dengan 8 node yang diterapkan untuk mendefinisikan model 3-D.



Gambar 4. Elemen 8 node Trilinear

Adapun fungsi basis 3-D Linier disajikan pada berikut:

$$\begin{aligned}
 \varphi_1(\xi_1, \xi_2, \xi_3) &= (1 - \xi_1)(1 - \xi_2)(1 - \xi_3) \\
 \varphi_2(\xi_1, \xi_2, \xi_3) &= \xi_1(1 - \xi_2)(1 - \xi_3) \\
 \varphi_3(\xi_1, \xi_2, \xi_3) &= (1 - \xi_1)\xi_2(1 - \xi_3) \\
 \varphi_4(\xi_1, \xi_2, \xi_3) &= \xi_1\xi_2(1 - \xi_3) \\
 \varphi_5(\xi_1, \xi_2, \xi_3) &= (1 - \xi_1)(1 - \xi_2)\xi_3 \\
 \varphi_6(\xi_1, \xi_2, \xi_3) &= \xi_1(1 - \xi_2)\xi_3 \\
 \varphi_7(\xi_1, \xi_2, \xi_3) &= (1 - \xi_1)\xi_2\xi_3 \\
 \varphi_8(\xi_1, \xi_2, \xi_3) &= \xi_1\xi_2\xi_3
 \end{aligned}$$

### 3.3 Hitung Nilai Elemen Matriks Lokal

Tahap berikutnya adalah menghitung nilai elemen matriks stiffness lokal berukuran 8x8 dengan menggunakan rumus dasar :

Persamaan Steady state Heat Conduction :

*Rate of change of heat flux = heat source per unit volume*

$$\frac{d}{dx}(\text{heat flux}) + \text{heat sink per unit volume} = 0$$

$$\frac{d}{dx}\left(-k \frac{du}{dx}\right) + q(u, x) = 0$$

$$-\frac{d}{dx}\left(\frac{du}{dx}\right) + u = 0, 0 < x < 1$$

$$\int_{\Omega} k \nabla u \cdot \nabla \omega \, d\Omega = \int_{\Gamma} k \frac{\partial u}{\partial n} \omega \, d\Gamma \quad (5)$$

Untuk tiga dimensi menjadi :

$$\int_{\Omega} k \left( \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial \omega}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z} \frac{\partial \omega}{\partial z} \right) = \int_{\Gamma} k \frac{\partial u}{\partial n} \omega \, d\Gamma \quad (6)$$

U diaproksimasi oleh  $\varphi_n u_n$  dan  $\omega$  adalah bobot fungsi dari desain yang dipilih. Formula Galerkin yang digunakan adalah :

$$\sum_i u_n \int_{\Omega} k \left( \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial \omega}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z} \frac{\partial \omega}{\partial z} \right) d\Omega = \int_{\Gamma} k \frac{\partial u}{\partial n} \omega \, d\Gamma \quad (7)$$

Matriks stiffness,  $E_{mn}$  dengan  $m = 1, \dots, 8$  dan  $n = 1, \dots, 8$  dan  $F_m$  adalah elemen *load vector*, sehingga sistem yang diteliti mengikuti persamaan :

$$E_{mn} U_n = F_m \quad (8)$$

Yang mana nilai elemen-elemen matriks stiffness tersebut dihitung dengan rumus :

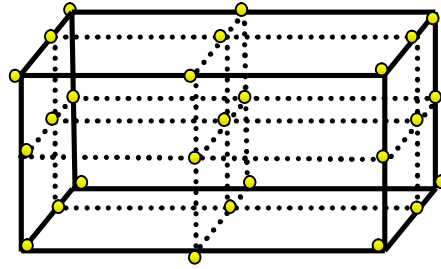
$$E_{mn} = \iiint_{000}^{111} \left( \frac{\partial \varphi_n}{\partial x} \frac{\partial \varphi_m}{\partial x} + \frac{\partial \varphi_n}{\partial y} \frac{\partial \varphi_m}{\partial y} + \frac{\partial \varphi_n}{\partial z} \frac{\partial \varphi_m}{\partial z} \right) d_x d_y d_z \quad (9)$$

Dengan menggunakan rumus (9) maka dapat diketahui matriks stiffness lokal dari model 3D yang akan digunakan dalam proses perhitungan estimasi.

### 3.4 Rancang Matriks Global

Tahap berikutnya merancang matriks global. Sebelum melakukan perhitungan estimasi yang perlu dilakukan terlebih dahulu yaitu memadankan *physical model* yang ada

dengan jumlah titik yang ingin diestimasi. Gambar 5. merupakan ilustrasi estimasi dari 8 node menjadi 27 node.



Gambar 5. Contoh node pengamatan hasil perhitungan FEM

### 3.5 Estimasi Node-node yang belum diketahui

Dari Gambar 5, node-node yang belum diketahui diestimasi menggunakan metode Eliminasi Gauss.

### 3.6 Pemodelan Regresi Non Linier

Dengan menggunakan metode FEM 3-D Linier tersebut, setiap saat dapat diestimasi temperatur di masing-masing node yang belum diketahui. Artinya temperatur dapat dimodelkan oleh dimensi spasial ( $x,y,z$ ) dan dimensi waktu ( $t$ ).

## 4. HASIL DAN ANALISIS

Setelah didapatkan matriks stiffness lokal dan dikembangkan menjadi matriks stiffness global, temperatur node-node yang lain dapat ditentukan menggunakan metode Eliminasi Gauss. Dari hasil estimasi tersebut selanjutnya dimodelkan persamaan regresi. Hipotesis dalam pemodelan distribusi temperatur ruang yaitu ada pengaruh yang signifikan dimensi spasial (variabel  $x,y,z$ ) dan waktu (variabel  $t$ ) terhadap temperatur ruang. Pengaruh tersebut dapat secara linier, kuadratik, kubik, dan interaksi antar variabel (non linier).

### 4.1 Treatment 1: Model Temperatur Dengan Kondisi Pemanas On Kipas Off (Tanpa Kontrol)

#### a) Model Regresi Linier

Model yang pertama dicoba adalah model linier, diperoleh hasil estimasi dengan persamaan :  $Temp = 16.3 + 0.222t + 0.0806x + 0.819z$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 73.8%. Hasil pengujian parameter regresi secara individu adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Pengujian Parameter Model Regresi Linier pada Treatment 1

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	16.2833	0.2973	54.77	0.000
t	0.222308	0.001988	111.82	0.000
x	0.08063	0.01437	5.61	0.000
z	0.81898	0.02156	37.99	0.000

Ternyata variabel y tidak berpengaruh secara signifikan terhadap temperatur. Sedangkan variabel yang lain yaitu t, x, dan z berpengaruh secara signifikan (nilai  $p < 5\%$ ). Nilai  $R^2$  juga cukup tinggi yaitu sebesar 73,8%.

b) Model Regresi Nonlinier

Model berikutnya adalah model gabungan yaitu polinomial derajat dua dan interaksi tiga variabel, diperoleh persamaan:

$$\text{Temp} = 26.2 + 0.140t - 0.351x + 0.330y - 0.996z - 0.0458y^2 + 0.000780tx + 0.0106tz + 0.0336xy + 0.0861xz + 0.0940yz - 0.00980xyz$$

, dengan nilai  $R^2$  sebesar 80.2%.

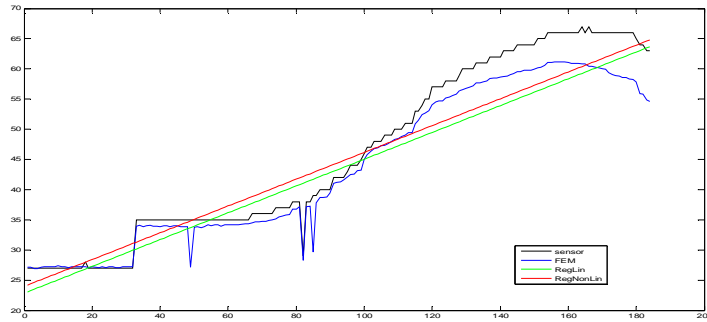
Hasil pengujian parameter regresi secara individu adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Pengujian Parameter Model Regresi Linier pada Treatment 1

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	26.1679	0.6043	43.31	0.000
t	0.139982	0.003827	36.57	0.000
x	-0.35066	0.04376	-8.01	0.000
y	0.33018	0.09141	3.61	0.000
z	-0.99602	0.06383	-15.61	0.000
$y^2$	-0.045842	0.005189	-8.83	0.000
tx	0.0007801	0.0002354	3.31	0.001
tz	0.0106466	0.0003532	30.15	0.000
xy	0.033556	0.004442	7.55	0.000
xz	0.086103	0.004370	19.70	0.000
yz	0.093977	0.006419	14.64	0.000
xyz	-0.0097999	0.0005114	-19.16	0.000

Berikut ini adalah grafik perbandingan temperatur node uji terhadap temperatur model FEM, regresi linier, dan regresi non linier. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa model regresi (linier dan nonlinier) temperatur naik secara linier. Sedangkan model FEM lebih mendekati temperatur yang sebenarnya.





Gambar 6. Grafik temperatur node uji dan model pada Treatment 1

Dari percobaan selama 184 detik, rata-rata persentase error pada model FEM sebesar 4,38%, regresi linier sebesar 7,95%, dan regresi nonlinier sebesar 7,52%.

#### 4.2 Treatment 2 : Model Dengan Kondisi Pemanas On dan Kipas On Saat Temperatur Ruang mencapai 60<sup>o</sup> (Tanpa Kontrol)

##### a) Model Regresi Non Linier-1

Model yang pertama dicoba adalah model nonlinier-1, diperoleh hasil estimasi persamaan  $Temp_2 = 37.5 + 0.114t - 0.299x - 0.567y - 0.149z - 0.000187t^2 + 0.0105y^2 - 0.0141z^2 + 0.0438xy + 0.0728xz + 0.102yz - 0.0102xyz$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 62.8%. Hasil pengujian parameter regresi secara individu adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Pengujian Parameter Model Regresi Non Linier-1 pada Treatment 2

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	37.4882	0.3014	124.39	0.000
t	0.113935	0.000942	121.01	0.000
x	-0.29852	0.02007	-14.88	0.000
y	-0.56740	0.04835	-11.74	0.000
z	-0.14851	0.04951	-3.00	0.003
t <sup>2</sup>	-0.0001871	0.00000127	-147.17	0.000
y <sup>2</sup>	0.010495	0.002745	3.82	0.000
z <sup>2</sup>	-0.014086	0.002865	-4.92	0.000
xy	0.043784	0.002348	18.64	0.000
xz	0.072811	0.002311	31.51	0.000
yz	0.102172	0.003394	30.11	0.000
xyz	-0.0102451	0.0002704	-37.89	0.000

Dari model ini, variabel t, x, y, z, t<sup>2</sup>, y<sup>2</sup>, z<sup>2</sup>, xy, xz, yz, dan xyz berpengaruh secara signifikan (nilai p < 5%) terhadap temperatur.

b) Model Regresi Non Linier-2

Model yang kedua dicoba adalah model nonlinier-2, diperoleh hasil estimasi persamaan :

$$\text{Temp2} = 28.9 + 0.226t - 0.214x - 0.636y - 0.000581t^2 + 0.0107y^2 - 0.0214z^2 - 0.000167tx + 0.00370tz + 0.0415xy + 0.0694xz + 0.0971yz - 0.00992xyz + 0.0000004t^3 + 0.000002t^2y - 0.000013t^2z - 0.000000t^3y + 0.000000t^3z$$

Hasil pengujian parameter regresi menunjukkan bahwa semua parameter signifikan dalam model dengan nilai  $R^2$  sebesar 71.7%.

c) Model Curve Fitting Kubik

Selain dicoba model regresi polinomial, juga dicoba model Curve Fitting Kubik. nilai  $R^2$  relatif rendah yaitu sebesar 63,6% dengan persamaan:

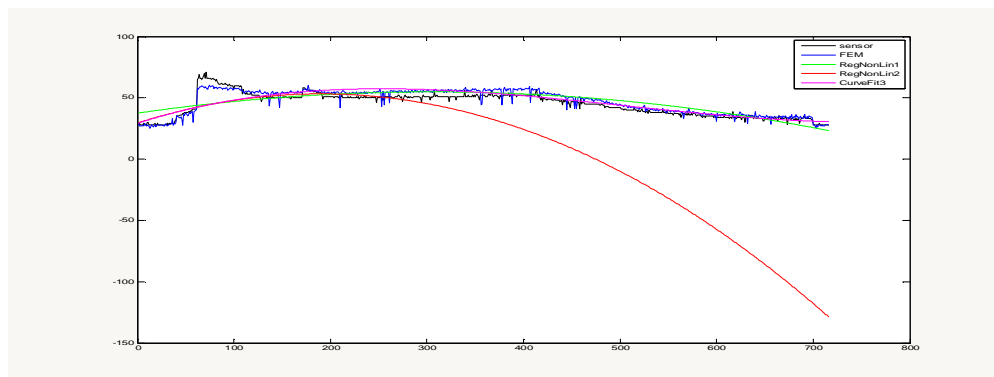
$$\text{Temp2} = 29.2 + 0.251t - 0.000663t^2 + 0.000000t^3$$

Hasil pengujian parameter curve fitting adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Pengujian Parameter Model Curve Fitting pada Treatment-2

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	29.2263	0.1931	151.33	0.000
t	0.250530	0.002331	107.47	0.000
t <sup>2</sup>	-0.0006631	0.00000755	-87.80	0.000
t <sup>3</sup>	0.00000044	0.00000001	63.91	0.000

Berikut ini adalah grafik perbandingan temperatur node uji terhadap temperatur model FEM, regresi nonlinier-1, dan regresi nonlinier-2. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa model regresi nonlinier-1 temperatur turun drastis secara kuadratik. Sedangkan model FEM, regresi nonlinier-1, dan model curve fitting lebih mendekati temperatur yang sebenarnya.



Gambar 7. Grafik temperatur node uji dan model pada Treatment-2

Dari percobaan selama 716 detik, rata-rata persentase error pada model FEM sebesar 7,20%, regresi nonlinier-1 sebesar 11,68%, regresi nonlinier-2 sebesar 109,38%, dan model curve fitting kubik sebesar 8,58%.

Beberapa analisis dari hasil percobaan ini adalah sebagai berikut:

- 1) Pada treatment-1 (kondisi pemanas ON dan kipas OFF tanpa kontrol), model regresi linier dan non linier mempunyai rata-rata persentase error yang relatif sama yaitu masing-masing sebesar 7,95% dan 7,52%.
- 2) Pada treatment-2 (kondisi pemanas ON dan kipas ON saat temperatur mencapai 60°), model regresi non linier-2 mempunyai  $R^2 = 71,7\%$ , lebih tinggi dibandingkan dengan model regresi non linier-1 yaitu hanya sebesar 62,8%. Namun pada saat pengujian model dengan data sensor uji, rata-rata persentase error model regresi non linier-2 sangat tinggi yaitu sebesar 109,38%. Sedangkan model regresi non linier-1 hanya sebesar 11,68%. Justru model curve fitting kubik mempunyai rata-rata persentase error yang lebih kecil dibandingkan model regresi, yaitu sebesar 8,58% walaupun nilai  $R^2 = 63,6\%$ .

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil dan analisis yang telah dilakukan, disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Estimasi menggunakan FEM lebih handal jika dibandingkan dengan pendekatan model regresi non linier, yaitu dengan rata-rata persentase error antara 4,38 – 7,20%.
- 2) Model regresi non linier lebih cocok untuk mengestimasi sekaligus memprediksi pola distribusi temperatur. Namun perlu juga dibandingkan beberapa model persamaan lain seperti model curve fitting (regresi waktu) atau model persamaan gabungan.
- 3) Pemilihan model regresi terbaik tidak dapat ditentukan hanya dari nilai  $R^2$  yang tinggi dan signifikansi parameter dari semua variabel predictor saja, tetapi juga harus dilakukan pengujian dengan data riil yang relatif panjang untuk mengetahui tingkat kehandalan model.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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
- [2] Sekiguchi, Shin-ichiro, 2006. *Estimation of River Current Using Kalman Filter Finite Element Method*, Annual Report, Department of Civil Engineering, Chuo University.
- [3] Saragi, E. dan Utaja (2003). *Analisis Bimetal Dengan Metode Elemen Hingga*, Risalah Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir XN, Juli 2003 (183-196)
- [4] *Bathe, J.K. Finite Element Procedures.*
- [5] <http://www.cs.rutgers.edu/~suejung/fembemnotes.pdf>



Elly Purwantini lahir di Probolinggo, 18 Desember 1960, telah lulus Sarjana Teknik Elektro Sistem Pengaturan ITS tahun 1983, dan lulus Master Teknik Informatika ITS tahun 2006. Bidang keahliannya adalah komputasi numeric dan *image processing*. Di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya mengajar mata kuliah metode numerik dan pemrograman.



Ronny Susetyoko lahir di Blora, 11 Desember 1971, telah lulus Sarjana Sains Statistika ITS tahun 1999, dan lulus Master Sains Matematika ITS tahun 2006. Bidang keahliannya adalah statistika dan komputasi numerik. Di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya mengajar mata kuliah matematika, statistika dan probabilitas, metode numerik, dan pemrograman.