

## Fenomena Transport Heat Exchanger Sistem Untai

Miftah Ayu Fauziah<sup>1)</sup>, I G B Wijaya Kusuma<sup>1)</sup>, I N Suarnadwipa<sup>1)</sup>,  
Ni Made Dwidiani<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

### Abstrak

Heat exchanger sistem untai adalah suatu alat yang dibuat khusus untuk aliran satu-fasa dengan variabel diantaranya daya pemanas dan laju aliran fluida. Daya pemanas dalam untai berupa elemen pemanas air yang memiliki daya 1000 *Watt*. Heat exchanger sistem untai tersusun atas *heater tank*, *cooling tank*, dan pipa kaca (*pyrex*) yang membentuk sebuah siklus. Adapun fungsi dari masing-masing bagian yaitu, *heater tank* berfungsi sebagai media memanaskan alir dengan elemen pemanas hingga waktu yang telah ditentukan. *Cooling tank* berfungsi sebagai media mendinginkan air dimana pada *cooling tank* terdapat *heat exchanger* berupa *coil and shell* yang direndam dalam air atau kolam pendingin, di dalam *heat exchanger* fluida berupa air yang terlebih dahulu telah dipanaskan, air dipanaskan pada *heater tank* akan memberikan efek perubahan kerapatan fluida yang akan menyebabkan terjadinya pergerakan fluida yang disebabkan oleh efek *buoyancy*, yang tersusun atas pipa kaca dan membentuk sebuah siklus. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan aliran fluida dalam heat exchanger sistem untai melalui simulasi *ansys fluent* dan menganalisa perpindahan kalor yang terjadi serta dapat mengetahui banyaknya kalor yang mampu dipertukarkan melalui metode perhitungan secara matematis. Dari hasil penelitian, analisa perhitungan, dan simulasi yang telah dilakukan dengan *input running* simulasi yaitu temperatur dan tekanan didapatkan *output* yaitu *velocity* aliran fluida sebesar 1,264 m/s. Adapun panas yang dapat dipertukarkan pada *heater tank* sebesar 2039,66 *Watt* dan hanya memiliki efektifitas sebesar 38%. Pada *Cooling tank* mampu mempertukarkan kalor sebesar 11281,53 *Watt* dan memiliki efektifitas sebesar 84% serta jumlah *heat transfer* yang mampu disalurkan (*NTU*) sebesar 1,83.

**Kata kunci:** Penukar panas, sirkulasi alami, tangki pemanas, tangki pendingin, simulasi Ansys Fasih

### Abstract

*Heat exchanger strand system is a tool made specifically for single-phase flow with variables including heating power and fluid flow rate. Heating power in the strand is a water heater element that has 1000 Watt power. Heat exchanger strand system is composed of heater tanks, cooling tanks, and glass pipes (pyrex) that form a cycle. The function of each section is, heater tank serves as a medium to heat the flow with the heating element until the time specified. Cooling tank serves as a cooling water medium where the cooling tanks contain heat exchanger in the form of coil and shell soaked in water or cooling pool, in a heat exchanger fluid in the form of water that has first been heated, water heated on the heater tank will give effect fluid density change which will lead to fluid movement caused by the buoyancy effect, which is composed of a glass pipe and form a cycle. This study aims to determine the speed of fluid flow in the heat exchanger strand system through simulation Ansys fluent and analyze the heat transfer that occurs and can know the amount of heat that can be exchanged through*

*mathematical calculation method. From the results of research, calculation analysis, and simulations that have been done with input running simulation ie temperature and pressure obtained output velocity fluid flow of 1,264 m / s. The heat that can be exchanged on the heater tank of 2039.66 Watt and only has the effectiveness of 38%. In Cooling tanks capable of exchanging heat of 11281.53 Watt and has an effectiveness of 84% and the amount of heat transfer that can be channeled (NTU) of 1.83.*

**Keywords:** Heat exchanger, natural circulation, heater tank, cooling tank, simulation Ansys Fluent

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu metode untuk menghilangkan panas peluruhan adalah dengan menggunakan pipa kalor. Teknologi yang efektif yang mampu mengangkut sejumlah besaran panas dengan perbedaan suhu yang kecil. Bekerja dalam 2 tahapan, yaitu operasi tidak memerlukan tambahan sumber (yaitu sistem pasif). Sebuah *natural heat pipe* bergerak dari kondensor ke evaporator memanfaatkan sistem kapiler kemudian memompa media porous (atau tanpa media berpori, sistem yang disebut fase tertutup *thermosiphon*). Jumlah panas per satuan waktu ditransfer oleh *heat pipe* akan lebih besar karena panas laten dari cairan kerja. (Kusuma, Putra et al. 2017). Penukar panas sistem untai berwujud untai alat yang memiliki fungsi sebagai simulator yang bekerja dengan asas *natural circulation*. Ketika *heater* memanaskan air dalam tangki heater maka air akan terdorong ke atas menuju tangki *cooler* akibat adanya perbedaan tekanan, dan air kembali turun ke tangki *heater* karena adanya efek perbedaan densitas dan gaya gravitasi. Dalam tangki *cooler* dan tangki *Heater* fluida mengalami perpindahan kalor. Perpindahan panas sistem untai terdiri atas beberapa komponen penting, seperti *heater tank*, *cooler tank*, *expansion tank*, dan lainnya yang terhubung oleh beberapa bagian yang membentuk sebuah siklus.

Penelitian ini mengangkat topik mengenai fenomena *transport* pada *heat exchanger* sistem untai. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis perpindahan kalor yang terjadi serta mengkaji kembali perpindahan kalor pada sistem untai *dengan* menggunakan aplikasi Ansys.

## 2. METODE

### 2.1. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah untuk mengetahui kecepatan aliran fluida dalam *heat exchanger* sistem untai melalui simulasi *ansys fluent* dan menganalisa perpindahan kalor yang terjadi serta dapat mengetahui banyaknya kalor yang mampu dipertukarkan melalui metode perhitungan secara matematis.

### 2.2. Metoda

Jika melihat dari beberapa persamaan yang telah dilampirkan, faktor luas permukaan bidang sangat mempengaruhi hasil nominal dari parameter yang dikomparasikan terutama untuk laju perpindahan panas yang dihasilkan dan efektifitas kerja alat penukar kalor. Laju perpindahan kalor dan efektifitas dari kerja penukar kalor tersebut akan menjadi fokus penulisan untuk melakukan analisa terhadap sistem untai. Penggunaan program Ansys Fluent serta Autodesk Inventor merupakan sebuah program untuk membantu melakukan uji laju perpindahan kalor sistem passive.

### 2.3. Proses Pengambilan Data

#### 2.3.1. Data Primer

Data primer dilakukan dengan eksperimen lapangan berupa temperature, tekanan dan

dimensi alat, serta keterangan lainnya.

### 2.3.2. Data sekunder

Data sekunder berupa data teoritis yang didapatkan dari berbagai referensi berupa buku, makalah dan laporan dari instansi mengenai materi terkait yang kredibel untuk menunjang hasil perhitungan dan analisa.

### 2.4. Jenis Data

Data yang diambil adalah data temperature, tekanan dan dimensi sistem heat exchanger seperti disajikan pada Tabel 1 dan 2 berikut:

No	Th <sub>i</sub>	Th <sub>o</sub>	T <sub>heater</sub>	T <sub>dinding</sub>	T <sub>udara</sub>	P(Atm)
1.	29,99°C	54,44°C	106,36°C	50°C	30°C	1

Tabel 1 Data penelitian rata-rata setelah dilakukan *running* 1 jam pada *heater tank*

No	Tc <sub>i</sub>	Tc <sub>o</sub>	T <sub>air dalam</sub>	T <sub>coil</sub>	T <sub>dinding tabung</sub>	T <sub>udara</sub>	P(Atm)
1.	51,96°C	30,58°C	31,91°C	51,32°C	30°C	30°C	1

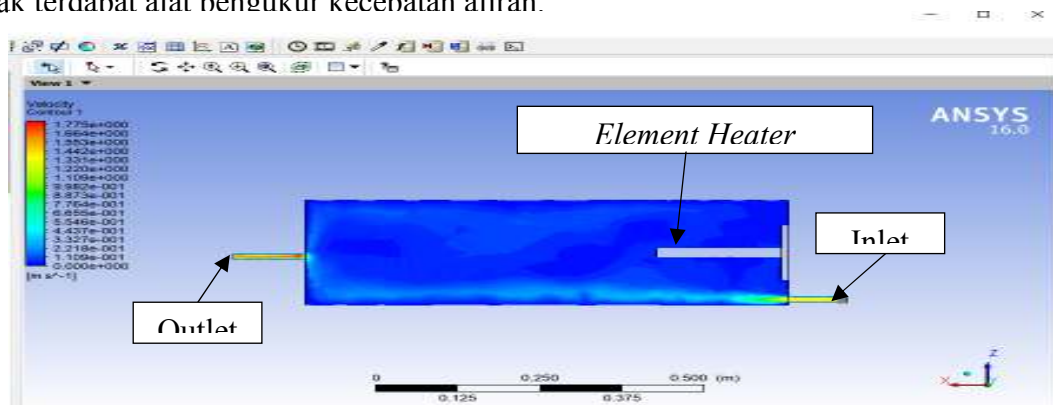
Tabel 2 Data penelitian rata-rata setelah dilakukan *running* 1 jam pada *cooling tank*

### 2.5. Pengolahan Data

Berdasarkan analisa data yang dilakukan pada heat exchanger sistem untai maka dapat diketahui besarnya energy yang dipertukarkan baik di heater maupun di cooler. Dari hasil penelitian, analisa perhitungan, dan simulasi yang telah dilakukan dengan *input running* simulasi yaitu temperatur dan tekanan didapatkan *output* yaitu *velocity* aliran fluida. Adapun panas yang dapat dipertukarkan pada *heater tank* dan efektifitas dihitung secara matematis. Sedemikian juga pada *Cooling tank* dihitung kalor dan efektifitas yang mampu dipertukarkan serta jumlah *heat transfer* yang mampu disalurkan (*NTU*).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil dari simulasi heater tank yang berhasil dilakukan dimana keadaan konvergen terjadi pada iterasi ke 4589. Simulasi ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kecepatan fluida pada *heater tank*, dikarenakan pada saat percobaan dilakukan tidak terdapat alat mengukur kecepatan aliran.



ada sisi masuk, sisi heater maupun pada sisi keluar. Terlihat bahwa air mengalir secara alamiah (natural), di mana di sisi masuk memiliki kecepatan yang lebih rendah bila dibandingkan di sisi keluarnya. Fenomena seperti ini mengingatkan pada efek tarikan pada tungku/cerobong,

dimana aliran fluida pada sisi keluar memiliki kecepatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan pada sisi masuk. Hal ini semata – mata terjadi akibat adanya efek buoyancy. Dalam perpindahan panas, karena kecepatan aliran terjadi akibat efek buoyancy, maka perpindahan panas tersebut dapat dikategorikan perpindahan panas secara alamiah (natural). Dengan demikian, apa yang direncanakan pada heat exchanger sistem untai yang menginginkan bekerja secara natural, telah dapat dibuktikan. Meskipun secara simulasi dapat disampaikan bahwa telah terjadi pertukaran panas secara natural, namun secara empiris harus dapat dibuktikan melalui bilangan Grashof dan Rayleigh nya. Apabila bilangan Rayleigh menghasilkan angka lebih dari  $10^9$  dan bilangan Grashof apabila dibandingkan dengan kuadrat bilangan Re ( $Re^2$ ) lebih besar dari 1, maka perpindahan panas dikategorikan secara natural. Adapun hasil data yang diperoleh dari simulasi sebagai berikut:

No.	Keterangan	Nilai
1.	Temperatur Inlet Heater Tank (Input)	303,98K
2.	Temperatur Outlet Heater Tank (Input)	324,85K
3.	Temperatur elemen pemanas (Input)	379,36K
4.	Kecepatan fluida (Outlet)	1,264 m/s

Tabel 1 Nilai temperatur dan kecepatan hasil simulasi *heater tank*

- Menghitung Grashof Number

$$G_r = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{fluida\ rerata} - T_{dinding\ rerata}) \cdot L^3}{\nu^2}$$

$$G_r = 1,3 \times 10^9$$

- Menghitung Bilangan Rayleigh pada aliran

$$R_a = G_r \cdot Pr = 1,3 \times 10^9 \cdot 3,41 = 4,4 \times 10^9$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan bahwa nilai Rayleigh > dari  $10^9$ , sehingga aliran dinyatakan mengalir secara natural/alamiah.

$$\frac{G_r}{R_a^2} > 1$$

dimana

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} = \frac{986,81 \cdot 1,264 \cdot (0,15)}{0,527 \times 10^{-3}} = 35502$$

$$\text{Jadi, } \frac{G_r}{R_a^2} = 1,03 > 1$$

Karena hasil lebih besar dari 1, maka di heater tank terjadi perpindahan panas secara *natural convection*.

Hasil percobaan *heater tank* sistem untai didapatkan beberapa hasil perhitungan sehingga nilai kalor yang dipertukarkan dihitung sebagai berikut:

1. Volume Heater Tank

$$V_{Heater\ Tank} = 0,013513\ m^3 = 13,513\ liter$$

2.  $q_{heater\ total} = q_{actual} + q_{tahanan\ termal}$

$$q_{heater\ total} = 2039,66\ W$$

### Efektivitas Pada Heater Tank

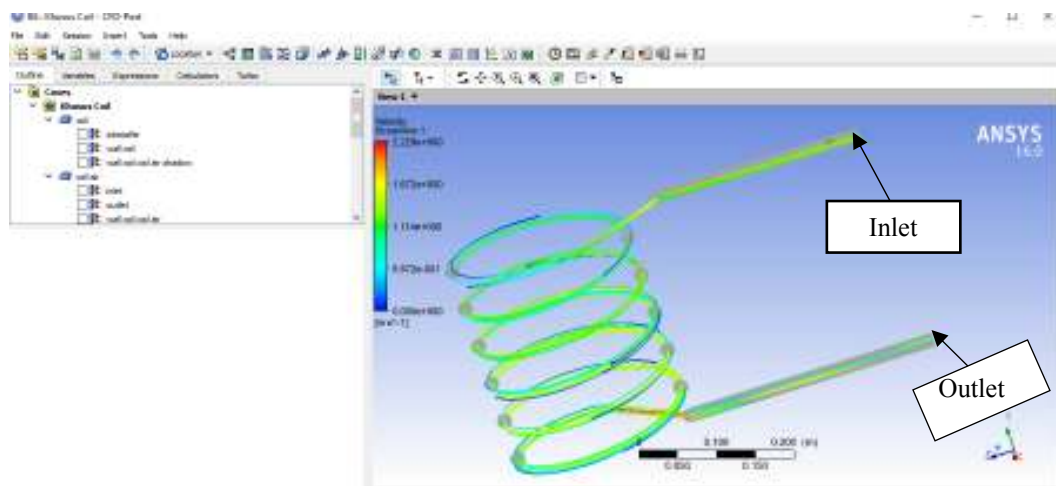
Mencari efektivitas pada *heater tank* dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_{analisa} &= U.A.\Delta T \\
 q_{analisa} &= 1989,21.\pi(0,0755)^2.(51,83 - 29,99) \\
 q_{analisa} &= 777,99 \text{ Watt} \\
 \varepsilon_{heater\ tank} &= \frac{q_{analisa}}{q_{heater\ tank}} = \frac{777,99}{2039,65} = 0,38 = 38\% \\
 NTU &= -\ln(1 - \varepsilon) \\
 NTU &= -\ln(1 - 0,38) = 0,415
 \end{aligned}$$

Dengan demikian diperoleh efektivitas sebesar 38% dan NTU sebesar 0,415 pada *heater tank*. Agar efektivitas pada *heater tank* dapat meningkat maka perlu dikaji *element heater* yang terdapat di tabung pemanas, serta memperbaiki konstruksi pada untai Pre-FASSIP-02. Agar efektivitas pertukaran panas yang terjadi di heater dapat ditingkatkan, maka yang dijadikan acuan adalah Grashof number nya, sehingga perbandingan  $Gr/Re^2$  akan jauh lebih besar dari 1. Dari perhitungan pada heater, nilai  $Gr/Re^2$  hanya lebih sedikit dari 1. Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efektivitas pertukaran panas di heater adalah menaikkan temperature rerata fluida dan menurunkan temperature dinding. Hal ini dapat dilakukan dengan menambahkan ekstended surface pada permukaan dinding, sehingga temperature fluida tetap tinggi tapi temperature dinding menjadi sangat rendah.

### Simulasi Pada *Coil Cooling Tank*

Berikut merupakan hasil dari simulasi *cooling tank* dan *coil* yang berhasil di simulasikan dan mencapai keadaan konvergen diiterasi ke 1000. Simulasi ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kecepatan fluida pada *cooling tank*, dikarenakan pada saat percobaan dilakukan tidak terdapat alat pengukur kecepatan aliran. Hasil simulasi disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Simulasi *velocity* pada *coil* di *cooling tank*

Gambar 2 merupakan hasil dari simulasi pada *coil* di *cooling tank* setelah iterasi konvergen dan menghasilkan *output velocity* sebesar 1,264 m/s. Pada titik *inlet* terlihat *contour* berwarna kuning kehijauan, sedangkan pada *outlet* terlihat bahwa *contour* berubah warna menjadi biru kehijauan yang menyatakan bahwa kecepatan bergerak relatif konstan berdasarkan *contour* warna yang ditampilkan. Berdasarkan perhitungan secara matematis aliran di dalam *coil* didapatkan bahwa aliran mengalir secara turbulen karena  $Re > 2300$ . Adapun hasil data yang diperoleh dari simulasi sebagai berikut:

No.	Keterangan	Nilai
1.	Temperatur <i>Inlet Coil</i> di <i>cooling tank (input)</i>	324,94K
2.	Temperatur <i>Outlet coil</i> di <i>cooling tank (input)</i>	309,54K
3.	Kecepatan fluida pada <i>coil (output)</i>	1,264 m/s

Tabel 2 Nilai temperatur dan kecepatan hasil simulasi *cooling tank*

- Menghitung Grashof Number

$$G_r = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{\text{fluida rerata}} - T_{\text{dinding rerata}}) \cdot L^3}{\nu^2}$$

$$G_r = 7,1 \times 10^9$$

- Menghitung Bilangan Rayleigh pada aliran

$$R_a = G_r \cdot P_r = 7,1 \times 10^9 \cdot 3,45 = 2,45 \times 10^9$$

Dengan nilai Rayleigh yang didapat diatas maka aliran ini dikatakan sebagai aliran yang mengalir secara konveksi bebas karena  $R_a > 10^8$ .

$$\frac{G_r}{R_a^2} > 1$$

dimana

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} = \frac{987,14 \cdot 1,264 \cdot (0,0115)}{0,532 \times 10^{-3}} = 26971$$

$$\text{sehingga } \frac{G_r}{Re^2} = 9,8 > 1$$

Karena hasil lebih besar dari 1, maka di *cooling tank* terjadi perpindahan panas secara *natural*.

Untuk mencari perpindahan panas secara konveksi dapat dilakukan dengan menghitung sebagai berikut:

1. Volume *cooling tank*

$$V_{\text{cooling tank}} = 0,111462 \text{ m}^3 = 111,462 \text{ liter}$$

2.  $q_{\text{coil cooling tank}} = q_{\text{storage}} + q_{\text{tahanan termal total cooling-udara}}$

$$q_{\text{coil cooling tank}} = 9488,50 + 5,236$$

$$q_{\text{coil cooling tank}} = 9493,74 \text{ W}$$

### Analisa Efektivitas- NTU Pada *Cooling Tank*

Karena fluida yang terdapat di dalam *heat exchanger* bergerak dengan kecepatan 1,264 m/s sedangkan pada fluida yang terdapat pada kolam pendingin tidak bergerak yang akan menghasilkan angka yang tak terhingga. Maka diasumsikan bahwa  $C_{\text{min}} = C_h$ .

$$q_{\text{max}} = C_{\text{min}} (T_{c,o} - T_{c,i})$$

$$q_{\text{max}} = 541,98 (51,96 - 31,91)$$

$$q_{\text{max}} = 10866,62 \text{ Watt}$$

Dengan demikian setelah memperoleh  $q_{\text{analisa}}$  dan  $q_{\text{max}}$  maka efektivitas dan NTU *Cooling Tank* dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\varepsilon = \frac{q_{\text{coil cooling tank}}}{q_{\text{max}}} = \frac{9498,74}{10866,62} = 0,87 = 87\%$$

$$NTU = -\ln(1 - \varepsilon)$$

$$NTU = -\ln(1 - 0,87) = 2,04$$

Dengan demikian diperoleh efektivitas sebesar 87% dan NTU sebesar 2,04 pada *cooling tank*. Meskipun efektifitas pada *cooling tank* dikategorikan ke dalam alat yang bekerja efektif, perlu adanya proses sirkulasi pada air kolam agar proses pendinginan berjalan lebih sempurna untuk mempertukarkan panasnya.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian didapatkan bahwa *heat exchanger sistem untai* telah bekerja secara natural convection. Berdasarkan simulasi dan perhitungan ditemukan bahwa *heater tank* hanya mampu mempertukarkan kalor sebesar 2039,66 *Watt* dan hanya memiliki efektifitas sebesar 38% serta jumlah *heat transfer* yang mampu disalurkan (NTU) sebesar 0,415. Pada *Cooling tank* untai mampu mempertukarkan kalor sebesar 9498,74 *Watt* dan memiliki efektifitas sebesar 87% serta jumlah *heat transfer* yang mampu disalurkan (NTU) sebesar 2,04.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ariswara, Dian., Dibyo, Sukmanto., Heru, Bambang., Juarsa, Mulya., 2014. " Efek Perubahan Ketinggian Cooler Terhadap Kecepatan Aliran pada Simulasi Sistem Pasif". Sigma Epsilon-Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir. Vol. 1
- [2] Bergman, T. L. and F. P. Incropera (2011). Fundamentals of heat and mass transfer, John Wiley & Sons.
- [3] Bizzy, I. and R. Setiadi (2013). "Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube dengan Program Heat Transfer Research Inc.(HTRI)." Jurnal Rekayasa Mesin **13**(1): 67-76.
- [4] Dibyo, Sukmanto, Mulya Juarsa, and Ign Djoko Irianto."Analysis On Thermal Characteristic Of Heater In Loop FASSIP-01 Experimental Facility."
- [5] Giarno, Prasetio, Djoko., Rachman, Agus Nur., 2017." Analisis Laju Aliran di Cooler Pada Heat Sink Sistem Untai Uji FASSIP". Sigma Epsilon-Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir. Vol.20
- [6] Juarsa, Mulya., Antariksawan, Anhar Riza."Penelitian Fenomena Perpindahan Panas Pendidihan Dalam Peristiwa Kecelakaan Reaktor Nuklir Three Mile Island Unit 2." Sigma Epsilon, ISSN:0853-9103
- [7] Kusuma, M. H., et al. "Analisa Perpindahan Kalor Pendidihan Pada Vertical Rectangular Narrow GAP."
- [8] Kusuma, M. H., et al. (2017). "Investigation of the Thermal Performance of a Vertical Two-Phase Closed Thermosyphon as a Passive Cooling System for a Nuclear Reactor Spent Fuel Storage Pool." Nuclear Engineering and Technology 49(3): 476-483.
- [9] Kurnia, E., et al. (2016). "Karakteristika Perpindahan Panas Tabung Cooler Pada Fasilitas Simulasi Sistem Pasif Menggunakan Ansys." SIGMA EPSILON-Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir 19(2).