

## **SIMULASI PERUBAHAN TEMPERATUR BERDASARKAN VARIASI DAYA DAN ALIRAN PADA HEATER KONTAK LANGSUNG UNTAI FASSIP MENGGUNAKAN SOFTWARE ChamCAD versi 6.4.1**

**Edy Sumarno, Mulya Juarsa, Joko P.W, Deswandri, Geni Rina Sunaryo**

*Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir -BATAN,  
Kawasan Puspiptek Gd. 80 Serpong Tangerang Selatan Banten  
Telp.021-7560912/Fax.021-7560913 Kode pos 1315  
Email: [edy-sumarno@batan.go.id](mailto:edy-sumarno@batan.go.id)*

### **ABSTRAK**

**SIMULASI PERUBAHAN TEMPERATUR BERDASARKAN VARIASI DAYA DAN ALIRAN PADA HEATER KONTAK LANGSUNG UNTAI FASSIP MENGGUNAKAN SOFTWARE ChamCAD versi 6.4.1.** Untai FASSIP merupakan fasilitas eksperimen dimana aliran fluida pada sistem tersebut bergerak dengan sendiri karena adanya perbedaan temperatur pada dua sisi yang berbeda. Sirkulasi alami merupakan kemampuan fluida untuk bersirkulasi secara berkesinambungan yang disebabkan oleh perbedaan kerapatan densitas fluida karena adanya beda temperatur. Salah satu komponen utama untai FASSIP adalah digunakannya *heater* sebagai sumber panas. Untuk mendapatkan panas yang sesuai dengan yang dibutuhkan pada untai FASSIP memerlukan *heater* sebagai sumber panasnya. Tujuan penelitian adalah mendesain dan menghitung serta menentukan besaran diameter kawat kanthal yang digunakan agar kebutuhan panas dan capaian temperatur yang diinginkan dapat dipenuhi. Metode yang digunakan adalah dengan cara melakukan perhitungan besaran resistan dan panjang kawat kanthal, dengan cara menentukan terlebih dahulu besaran diameter dan daya yang digunakan pada kawat kanthal tersebut. Penentuan besaran temperatur dilakukan dengan cara memvariasikan daya dan aliran menggunakan program ChamCAD versi 6.4.1. Hasil desain untuk heater kontak langsung yang menggunakan kawat kanthal dengan diameter 2 mm dan daya maksimum sebesar 5 kW, didapat panjang kanthal sepanjang 17,623 meter. Hasil simulasi dengan daya 1 kW didapat *flowrate* 0,1 liter/menit sebesar 113,34°C dan pada *flowrate* 1,0 liter/menit sebesar 41,33°C. Kata kunci: *Heater*, Untai FASSIP, *Software ChamCAD 6.4.1*

### **ABSTRACT**

**SIMULATION OF TEMPERATURE CHANGE ON DIRECT CONTACT HEATER IN FASSIP LOOP BASED ON FLOW AND POWER VARIATION USING ChamCAD version 6.4.1.** FASSIP loop was an experimental apparatus in which the fluid flow in the fluid flow of the system can move by itself due to temperature differences. The natural circulation of the fluid's ability to circulate continuously caused by differences in the density of the fluid density because of the temperature difference. One of the main components FASSIP strand is the use of heater as the heat source. To get the heat as required on the strand FASSIP require a heater as the heat source. The purpose of research is to design and calculate and determine the magnitude of the diameter of the wire used kanthal that heat needs and achievements of the desired temperature can be met. The method used is a way to quantify the long-wire resistance and kanthal, by determining in advance the amount of diameter and power used in the kanthal wire. While determining the amount determined by the variation of temperature and flow power using version 6.4.1 ChamCAD program. Results for the design of direct contact heater that uses kanthal wire with a diameter of 2 mm and a maximum power of 5 kW, obtained kanthal along 17.623 meter length. The simulation results obtained with power 1 kW flowrate of 0.1 litre/minute for 113,34°C and at a flowrate of 1.0 litre/minute for 41,33°C  
*Key words: Heating, Loop FASSIP, Software ChamCAD 6.4.1*

### **PENDAHULUAN**

Akibat dari terendahnya genset sebagai pembangkit daya pendukung saat reaktor pada oleh gelombang air laut pada reaktor Fukushima Daiichi, mengakibatkan tidak berfungsinya pompa pendingin yang mengakibatkan pendinginan teras reaktor saat terjadi insiden tidak terpenuhi. Kejadian tersebut mengakibatkan panas peluruhan di dalam teras menjadi terakumulasi sehingga memicu terjadinya pelelehan teras (*core meltdown*) serta berimbas pula pada kerusakan bejana tekan teras reaktor. Berdasarkan kejadian tersebut

maka diperlukan penelitian dan pengembangan agar kejadian pelelehan teras diatas tidak terulang kembali. Gagalnya manajemen termal yang terjadi pada Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) Fukushima Daiichi menjadi acuan untuk mengembangkan system keselamatan nuklir yang baik dengan cara mengurangi sedikit mungkin peralatan-peralatan bantu yang digunakan dengan mengacu pada hukum alam, dimana termal yang terjadi dapat dibuang dengan sendirinya kealam sekitarnya. Adapun metode untuk perlakuan termal tersebut disebut sistem fasif (*passive system*) [1].

Untai FASSIP merupakan sebuah fasilitas eksperimen dimana aliran fluida pada sistem tersebut mengalir dengan sendirinya karena adanya perbedaan temperatur. Sirkulasi alamiah merupakan kemampuan fluida untuk bersirkulasi secara berkesinambungan yang disebabkan oleh perbedaan kerapatan densitas fluida. Efek berkurangnya kerapatan fluida pada daerah panas akan menimbulkan daya dorong keatas sedangkan efek kerapatan fluida pada daerah yang dingin akibat gaya gravitasi [2].

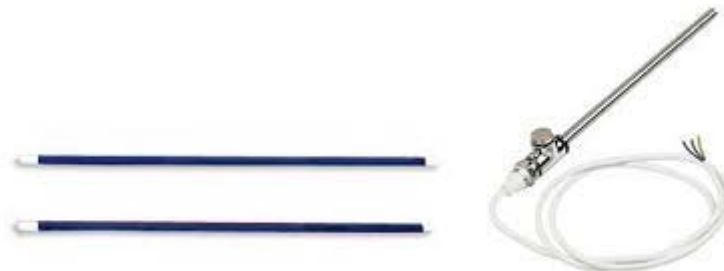
Salah satu komponen utama dalam untai FASSIP adalah digunakannya *heater* sebagai sumber panas. Untuk mendapatkan panas yang sesuai dengan yang dibutuhkan pada untai FASSIP diperlukan *heater* sebagai sumber panasnya. *Slide regulator* dengan daya sebesar 25 kVA digunakan sebagai sumber utama yang melakukan pengaturan daya dengan cara menaikkan tegangan *slide regulator* agar kalor dapat terdistribusi secara merata, sehingga panas yang diinginkan dapat terpenuhi. Pemanas yang digunakan pada untai FASSIP dalam penelitian digunakan sebagai pembangkit utama menggunakan dua heater yang saling berhadapan menggunakan kawat *open heater* dengan bahan kanthal menjadi bentuk spiral dengan diameter 30 mm dengan panjang 800 mm. Suplai tegangan menggunakan arus AC (*Altenating Current*) dengan variasi tegangan dari 0 Volt sampai 220 Volt serta daya maksimum yang tersedia adalah sesuai dengan kemampuan *slide regulator* yaitu sebesar 25 kVA. Tujuan penelitian adalah mendesain dan menghitung serta menentukan besaran diameter dan panjang kawat kanthal yang digunakan agar kebutuhan temperatur yang diinginkan dapat tercapai, serta menggunakan program ChamCAD versi 6.4.1 untuk simulasi temperturnya. Agar *open coil heater* yang terpasang pada untai FASSIP tidak mudah putus maka *open coil heater* tersebut dipasang secara horizontal, sehingga merosotnya lilitan *open coil heater* tidak terjadi akibat terjadinya pemuaiian kawat *open coil heater* tersebut.

## TEORI

Elemen *heater* merupakan peralatan yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja elemen panas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen yang menjumpai resistansi sehingga menghasilkan panas pada elemen.

Persyaratan elemen heater antara lain :

- Harus tahan lama pada temperatur yang dikehendaki.
- Sifat mekanisnya harus kuat pada temperatur yang dikehendaki.
- Koefisien muai harus kecil, sehingga perubahan bentuknya pada temperatur yang dikehendaki tidak terlalu besar.
- Tahanan jenisnya harus tinggi.
- Koefisien temperturnya harus kecil, sehingga arus kerjanya sedapat mungkin konstan.



Gambar 1. Elemen *heater*

Bahan yang paling banyak digunakan untuk pembuatan elemen *heater* listrik terdiri dari campuran Krom dengan Nikel, Krom dengan Nikel serta Besi, Krom dengan Besi dan

Alumunium. Bahan-bahan tersebut di atas tahan panas karena membentuk lapisan oksida yang kuat pada permukaannya, sehingga tidak terjadi oksidasi lebih lanjut. Bahan yang digunakan sebagian besar ditentukan oleh temperatur maksimum yang dikehendaki. Logam-logam campuran tersebut diatas dapat digunakan sampai 1250°C. Untuk temperatur yang lebih tinggi, misalnya untuk tanur listrik dapat digunakan campuran bahan lain. Kawat *heater* dengan bahan kantha terdiri dari campuran bahan krom, alumunium, besi dan kobalt, dan dapat dibedakan dari campuran Krom dengan Nikel karena memiliki beberapa sifat penting berikut ini :

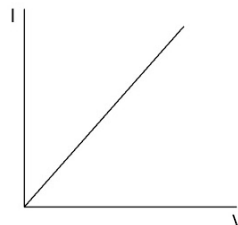
Jika dipanaskan diudara, campuran bahan kanthal akan membentuk kulit oksida yang sangat melekat. Elemen-elemen bahan yang bermerek kanthal dapat digunakan sampai 1350°C. Tahanan jenis bahan ini  $(1,35 - 1,45) \times 10^{-6} \Omega m$ . Umumnya bebahan ini dapat diberi beban permukaan yang tinggi (dalam satuan W/cm ). Kawat *heater* berbahan Kanthal super dapat digunakan sampai 1600°C. Bahan ini berupa bubuk yang dipanaskan hingga padat dan terdiri dari suatu bahan yang dapat disamakan dengan logam, dan suatu bahan keramik. Unsur-unsur utamanya adalah Mo, Si, dan SiO. Beban permukaan untuk bahan kawat bermerek kanthal super dapat mencapai 10–20 W/cm . Tahanan jenisnya meningkat jika temperaturnya naik yaitu pada : 20°C sama dengan  $0,4 \times 10^{-6} \Omega m$  500°C sama dengan  $1,2 \times 10^{-6} \Omega m$  1000°C sama dengan  $2,3 \times 10^{-6} \Omega m$  1300°C sama dengan  $2,9 \times 10^{-6} \Omega m$  1600°C sama dengan  $3,5 \times 10^{-6} \Omega m$  Koefisien temperatur rata-ratanya sama dengan 0,0048 [3].

Pada klas *metallic*, sebaagian besar elemen *heater* menggunakan bahan nichrome 80/20 (80% nikel, 20% kromium) dalam bentuk kawat, pita atau stip. 80/20 nichrome merupakan bahan yang baik, karena memiliki ketahanan yang relative tinggi dan membentuk lapisan kromium oksida ketika dipanaskan untuk pertama kalinya, sehingga bahan di bawah kawat tidak akan teriksodasi, mencegah kawat menjadi putus atau terbakar.

Hasil eksperimen *George Simon Ohm* pada tahun 1827 menunjukkan bahwa arus listrik  $I$  yang mengalir pada kawat penghantar sebanding dengan beda potensial  $V$  yang diberikan pada ujung-ujungnya.

$$I \propto V \quad (1)$$

Jika beda potensial diperbesar maka arus yang mengalir juga semakin besar. Hasil eksperimen ini dikenal dengan hukum Ohm. Hubungan antara  $V$  dan  $I$  secara grafik dapat dilihat seperti terlihat pada gambar 2 berikut ini.



**Gambar 2.** Grafik hubungan antara tegangan dan arus

Pengertian 1(satu) Ohm yaitu satu kolom air raksa yang panjangnya 1,063 m dengan penampang  $1 \text{ mm}^2$  pada temperatur  $0^\circ\text{C}$ . Suatu pengantar yang mempunyai nilai tambahan yang kecil atau mempunyai daya hantar yang besar ini berarti mudah dilalui arus. Besar daya kemampuan arus ini disebut daya hantar arus. Sedangkan penyekat atau isolasi adalah suatu bahan yang mempunyai tahanan yang besar atau mempunyai daya hantar yang kecil ini berarti sukar dilalui arus listrik. Rumus dibawah ini untuk menghitung besarnya tahanan listrik terhadap daya hantar arus.

$$R = \frac{1}{G} \quad (2)$$

atau

$$G = \frac{1}{R} \quad (3)$$

Keterangan :

$R$  = Tahanan kawat listrik  $\Omega$  (ohm);

$G$  = Daya hantar arus dalam satuan u (mho) atau Siemens

Tahanan jenis suatu bahan ialah tahanan bahan itu yang panjangnya 1 meter dengan luas penampang 1 mm<sup>2</sup>. Tahanan jenis diberi simbol :  $\rho$  (rho) Daya hantar jenis adalah kebalikan dari tahanan jenisnya dan diberi simbol dengan  $g$ . Rumus dibawah ini adalah rumus untuk menghitung tahanan jenis terhadap daya hantar jenisnya.

$$\rho = \frac{1}{g} \quad (4)$$

Besarnya penampang suatu kawat dapat dicari dengan 2 cara :

$$A = \frac{1}{g} \pi d^2 \quad (5)$$

$$A = \pi r^2 \quad (6)$$

Sedangkan besarnya tahanan dari kawat penghantar dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho \times l}{q} \quad (7)$$

$$A = \frac{\rho \times l}{R} \quad (8)$$

Selanjutnya penampang, Tahanan jenis dan panjang kawat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\rho = \frac{R \times A}{l} \quad (9)$$

$$l = \frac{R \times A}{\rho} \quad (10)$$

Keterangan :

$R$  = Tahanan kawat dalam satuan ohm ( $\Omega$ )

$l$  = Panjang kawat dalam satuan meter (m)

$\rho$  = Tahanan jenis dalam satuan  $\Omega$  mm

$A$  = Penampang kawat dalam satuan mm/m<sup>2</sup>

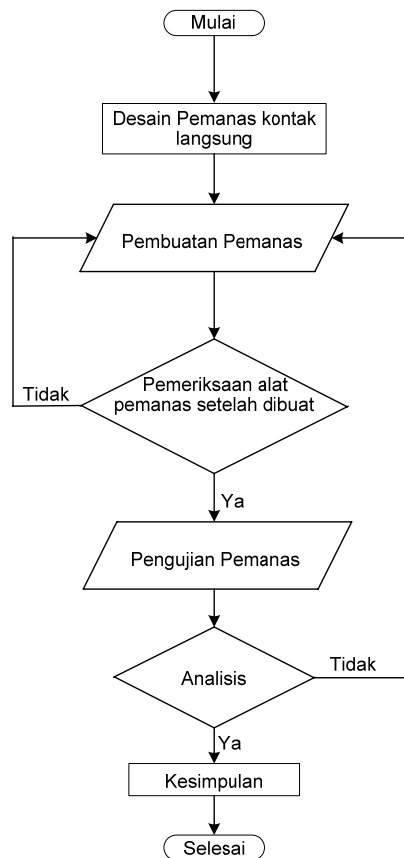
$g$  = Daya hantar jenis dalam satuan m/ $\Omega$  mm

## METODOLOGI

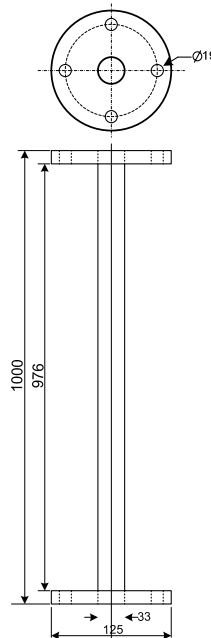
Penelitian desain sistem *heater* kontak langsung pada untai FASSIP menggunakan peralatan antara lain, AVO meter, Tang amper, Obeng plus dan Obeng minus, Tang kombinasi, dan peralatan bantu lainnya. Sementara bahan yang dipergunkan adalah kawat *open coil* bahan kanthal dengan daya 5 kW, diameter 2 mm, berat jenis 50,5 g/m, tahanan jenis 0,195  $\Omega$ .

Pada Gambar 3 adalah diagram alir penelitian pembuatan *heater* kontak langsung, adapun tahapannya diawali dengan melakukan desain pemanas kontak langsung terlebih dahulu dan tahapan berikutnya dilakukan pembuatan alat pemanas, dilanjutkan dengan pemeriksaan peralatan pemanas kontak langsung yang telah dibuat dan jika dirasa masih ada kekurangan maka dilakukan perbaikan dan penambahan komponen yang dibutuhkan, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap pemanas kontak langsung dengan cara diberikan arus listrik dan untuk mendapat daya yang bervariasi diperlukan *regulator voltage* sehingga tegangannya dapat divariasikan mulai 0 Volt hingga 220 Volt. Jika pengujian pemanas kontak langsung telah selesai maka tahapan berikutnya dilakukan analisis, bila dari hasil analisis ditemukan adanya kekurangan maka perlu dilakukan pemeriksaan kembali pada pembuatan pemanas kontak langsung, selanjutnya dilakukan pengulangan kembali tahapan penelitian tersebut, dari data-data hasil pengujian selanjutnya didapatkan sebuah kesimpulan.

Pembuatan desain *heater* kontak langsung dilakukan dengan *software Visio versi 2014*, serta *software Solidworks*. Bahan pipa yang akan dipanasi dengan *heater* adalah seperti terlihat pada Gambar 4.

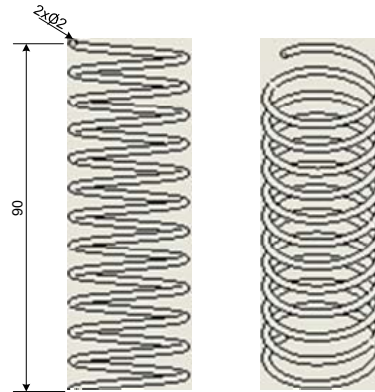


**Gambar 3.** Diaganr alir pembuatan *heater* kontak langsung



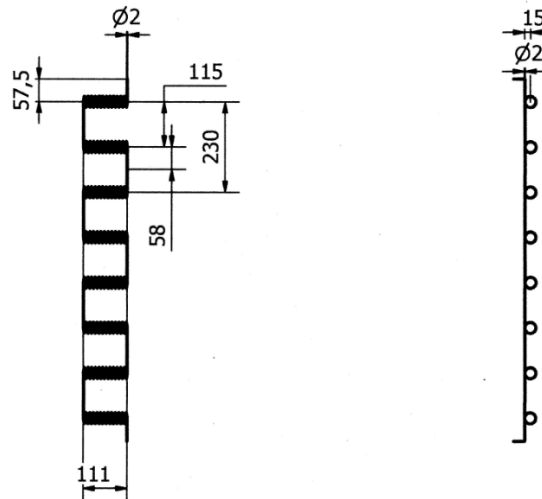
**Gambar 4.** Pipa yang akan dipasang *open coil heater*

Dimana panjang keseluruhan adalah 1000 mm dan diameter 33 mm dan berbahan SS 304, dari bahan tersebut maka perlu dilakukan desain heater yang panjangnya tidak boleh melebihi dari panjang bahan tersebut diatas yaitu sepanjang 1000 mm. Karena bahan kanthal yang ada di lapangan berbentuk kawat panjang, oleh karena itu perlu di bentuk terlebih dahulu hingga berbentuk lingkaran. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



**Gambar 5.** Desain kawat *open coil heater* kontak langsung.

Gambar 6. adalah hasil desain *heater* yang telah dilakukan, panjang total *heater* adalah 930 mm, diameter lubang lilitan adalah 30 mm serta panjang antar lilitan adalah 115 mm, jumlah seluruh lilitan adalah sebanyak 12 buah



**Gambar 6.** Hasil desain *open coil heater* kontak langsung  
(Countesy by UNNES Student)

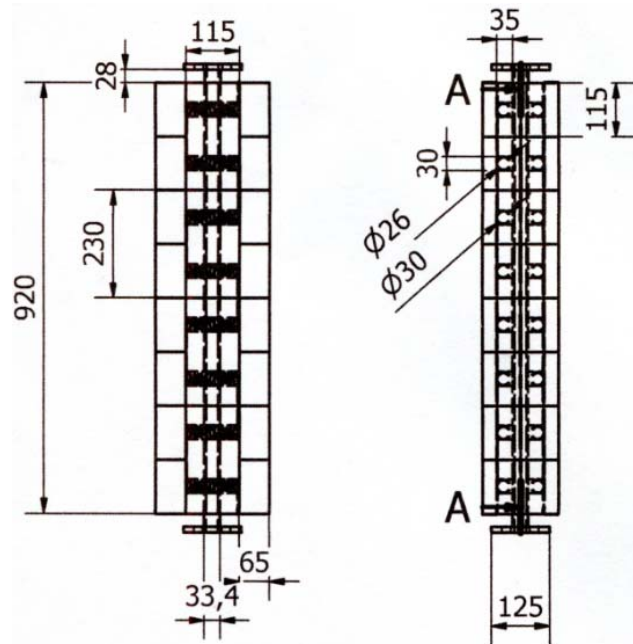
Desain pemanas kontak langsung dibuat, selanjutnya dilakukan pabrikan pembuatan *open coil heater* diawali dengan menggunakan cetakan dari bahan yang berbentuk lingkaran yang berdiameter 30 mm, sehingga hasilnya membentuk lingkaran selanjutnya mal yang berbentuk lingkaran dan bahan *open coil* dijadikan satu, pada salah satu ujung sisi tersebut dijepit dengan ragum dan diusahakan agar pipa tidak bergerak. Kawat *open coil heater* berdiameter 2 mm dililitkan pada bahan yang berbentuk lingkaran yang mempunyai diameter 30 mm. Agar mendapatkan lilitan pada kawat *open coil heater* tersebut, dengan bantuan menggunakan sebuah kayu yang diberi lubang pada ujungnya lalu dengan cara memutar kawat tersebut hingga mendapatkan lilitan yang berbentuk lingkaran, hal tersebut dilakukan sebanyak 12 kali lilitan kawat *open coil heater*, dan lilitannya mempunyai diameter 30 mm. Adapun pemasangannya dilakukan secara mendatar dan diulangi lagi dengan cara yang sama untuk mendapatkan sebanyak 8 buah kelompok lilitan kawat *open heater* dan disusun secara horizontal. Hal tersebut juga dilakukan untuk *open coil heater* yang digunakan pada sisi yang lain.

Masing masing sebuah *insulating fire brick* dibuat alur sebanyak 2 buah, sehingga yang diperlukan untuk semua lubang alur dibutuhkan sebanyak 8 buah alur pada sisi kiri, dan 8 alur untuk sisi kanan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

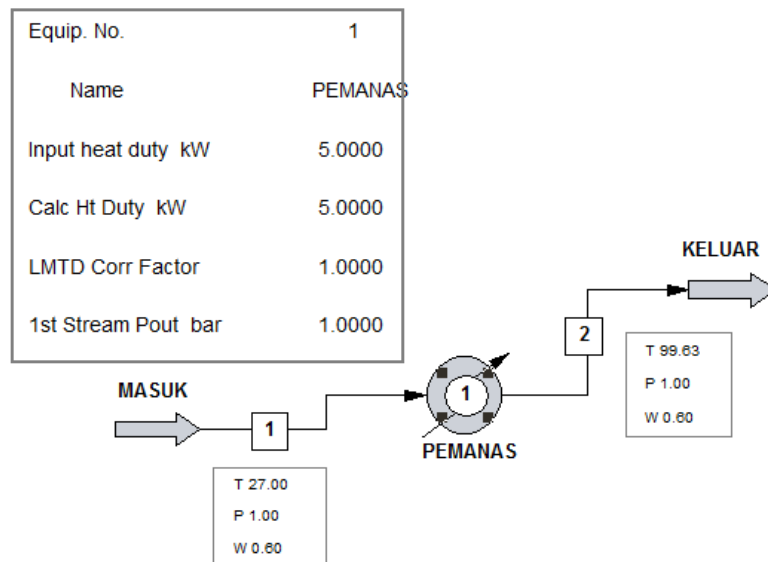
Pada penelitian ini perhitungan desain untuk *open coil heater* kontak langsung pada untai FASSIP menggunakan persamaan (10) kawat *open coil heater* dengan diameter 2 mm

dan daya sebesar 5 kW, didapat sepanjang 17,623 meter, adapun desain spesifikasi ukuran dari *open coil heater* kontak langsung yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 7.



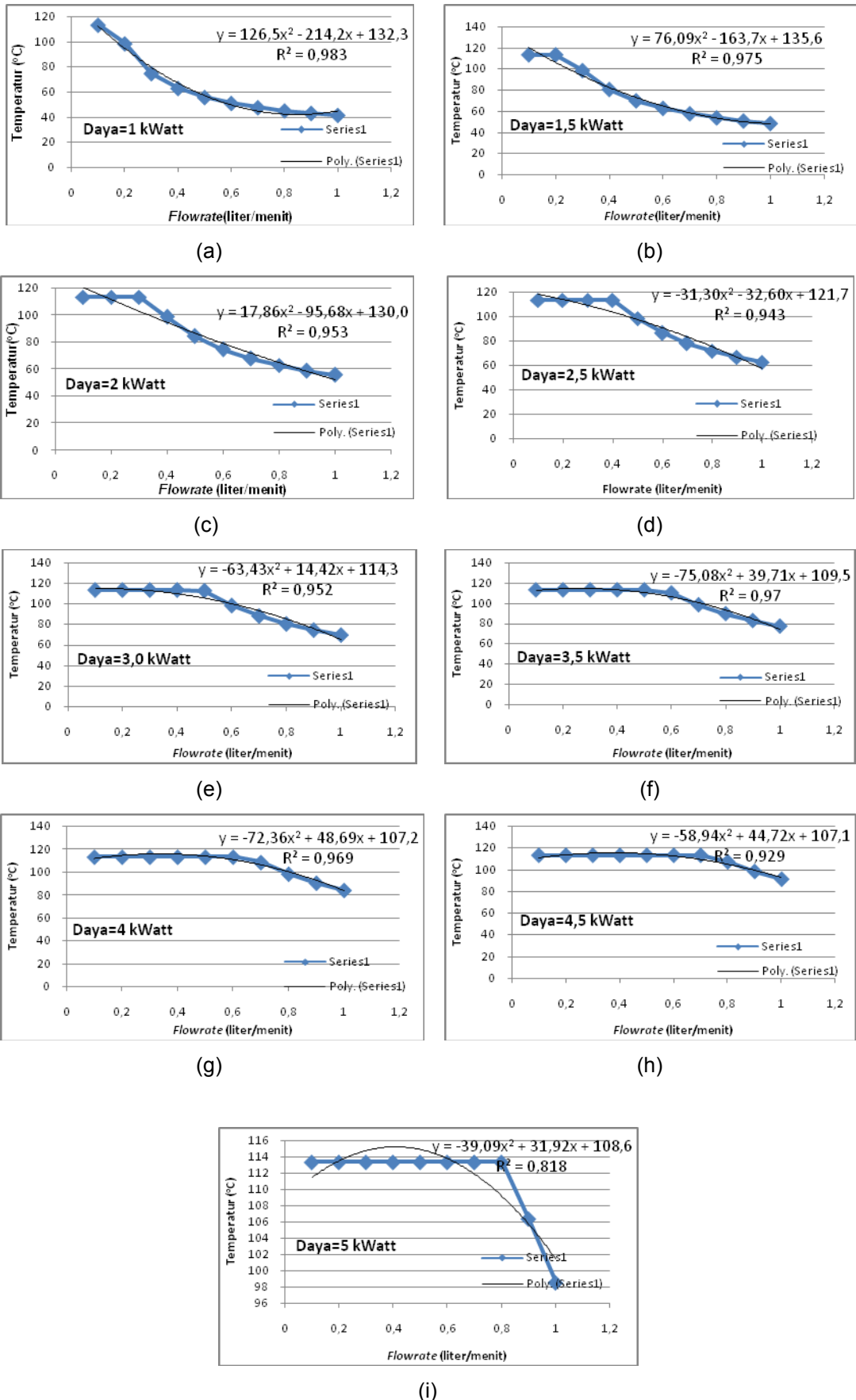
**Gambar 7.** *Open coil heater* kontak langsung dan *insulating fire brick*  
(Countesy by UNNES Student)

Agar dapat diketahui seberapa besar pengaruh temperatur yang dihasilkan dari hasil desain tersebut maka pada penelitian ini juga dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak *software* ChamCAD 6.4.1 dimana pada *software* ini yang dibutuhkan adalah inputan dari tekanan, daya *heater*, temperatur masukan air serta besarnya *flowrate*, berikut ini adalah *software* ChamCAD 6.4.1 yang digunakan untuk perhitungan temperatur terhadap *flowrate* dan variasi daya *heater*.



**Gambar 8.** Contoh hasil perhitungan menggunakan *software* ChamCAD versi 6.4.1

Dari hasil simulasi temperatur dengan variasi daya mulai dari 0,5 kW hingga 5 kW dengan tekanan 1,6 bar serta variasi *flowrate* 0,1 liter/menit s/d 1 liter/menit menggunakan perangkat lunak *software* ChamCAD versi 6.4.1 dapat dilihat pada Gambar 9 berikut ini.



**Gambar 9.** Grafik (a s/d i) Hasil simulasi temperatur terhadap variasi *flowrate* dengan variasi daya *heater* kontak langsung pada untai FASSIP



Hasil simulasi temperatur dengan variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 1 kW, pada *flowrate* 0,1 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 0,2 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terjadi penurunan temperatur dari 98,47°C hingga 41,33°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9a.

Variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 1,5 kW pada *flowrate* 0,1 dan 0,2 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 0,3 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terjadi penurunan temperatur dari 98,47°C hingga 48,49°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9b.

Variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 2 kW pada *flowrate* 0,1; 0,2; 0,3 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 0,4 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terjadi penurunan temperatur dari 98,47°C hingga 55,65°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9c.

Untuk variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 2,5 kW pada *flowrate* 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 0,5 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terjadi penurunan temperatur dari 98,47 °C hingga 62,81°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9d.

Variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 3 kW pada *flowrate* 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 0,6 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terjadi penurunan temperatur dari 98,47°C hingga 69,96°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9e.

Variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 3,5 kW pada *flowrate* 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 0,7 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terjadi penurunan temperatur dari 98,47°C hingga 77,10°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9f.

Variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 4 kW pada *flowrate* 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 0,8 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terjadi penurunan temperatur dari 98,47°C hingga 84,24°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9g.

Variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 4,5 kW pada *flowrate* 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 0,9 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terjadi penurunan temperatur dari 98,47°C hingga 91,36°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9h.

Variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 4,5 kW pada *flowrate* 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 1,0 liter/menit temperatur sebesar 98,47°C. Untuk lebih lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9.i. Jadi untuk tekanan 1,6 bar dan temperatur 27°C terlihat bahwa semakin daya diperbesar maka fluida dalam untai FASSIP akan semakin meningkat akan terjadinya pendidihan/saturasi pada fluida tersebut.

Hasil simulasi menggunakan *software* ChamCAD versi 6.4.1 terlihat adanya adanya korelasi penurunan temperatur fluida yang digunakan saat *flowrate* semakin diperbesar, serta korelasi antara kenaikan daya terhadap *flowrate* juga menunjukkan adanya kenaikan temperatur hingga mendekati pendidihan/saturasi pada fluida yang digunakan pada untai FASSIP. Dari hasil simulasi mempunyai nilai ketepatan penyebaran data yang sangat baik yaitu  $R^2$  berkisar antara 81,8% hingga 98,3% hal ini menunjukkan bahwa data yang didapat hasil simulasi antara variasi daya terhadap hasil penunjukan temperatur hasilnya sangat baik. Data-data terbut diatas dapat dipergunakan sebagai acuan untuk penelitian lebih lanjut.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa perhitungan panjang kawat *open coil heater* telah dilakukan dan simulasi *flowrate* terhadap temperatur menggunakan *software* ChamCAD versi 6.4.1 pada *heater* untai FASSIP. Hasil perhitungan yang dilakukan untuk kawat kanthal dengan diameter 2 mm serta daya sebesar 5 kW diperoleh kawat sepanjang 17,623 meter. Hasil simulasi yang dilakukan menggunakan *software* ChamCAD versi 6.4.1 menunjukkan bahwa semakin besar *flowrate*

berdampak pada penurunan temperatur. Dari hasil simulasi tersebut maka dapat ditentukan berapa temperatur yang dibutuhkan sehingga dapat ditentukan pula seberapa daya yang paling efisien yang digunakan pada untai FASSIP.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Pemulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, BATAN atas pembiayaan, sarana dan fasilitas dalam penelitian menggunakan dana DIPA tahun 2016-2017.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. M JUARSA, dkk "Studi Eksperimental Laju Aliran Massa Air Berdasarkan Perubahan Sudut Kemiringan Untai Pada Kasus Sirkulasi Alamiah Menggunakan Untai Simulasi Sirkulasi Alamiah (USSA-FT01)", Jurnal Material dan Energi Indonesia, Vol 01, No. 01 (2011) 22-30.
2. Vikas Jain. A.K. Nayak, P.K. Vijayan, D.Saha, R.K. Sinka, "Experimental investigation on the flow instability behavior of a multi chanel boiling natural circulation loop at low-pressures, Experimental Thermal and Fluid" Science 34 (2010) hal.776-787.
3. EDY SUMARNO, "Karakterisasi Heater Berlapis Semi-Silender Berlapis Keramik Untuk Bagian Uji QUEEN-II", Proseding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir, ISSN No.1410-0533, 2005Liozinski, M.G, Industrial Aplication of Induction Heating. London (1969).
4. PT.INGENIOUS, "ChamCAD Process Simulation", Software Training, BATAN Serpong (2012).
5. Nacke, Bernard. Induction Heating Fundamental. Institute of Electrotecnology Leibniz University of Hanover. Jerman 2000.
6. Tipler, P.A. Fisika untuk Sain dan Teknik-Jilid I (terjemahan). Jakarta penerbit, Erlangga (1998).
7. SUBUR EDI SUDRAJAT, IRFAN SANTOSO, "Perancangan Solar Water Heater Jenis Plat Datar Temperatur Medium Untuk Aplikasi Penghangat Kamar Mandi", Jurnal Teknologi, Volume 7, Nomor 2, Desember (2014), 118-127.
8. Basri, "Analisis Pengaruh Laju Aliran Massa Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Rata-Rata Pada Pipa Kapiler Di Mesin Refrigerasi Focus 808" Jurnal Mekanikal, Vol. 2 No. 1: Januari 2011: 16 – 22, ISSN hal. 2086 – 3403.
9. J.P. Holman. Perpindahan Kalor Edisi Enam. Erlangga, Jakarta,(1997).
10. Nurhalim, Ichwan. "Rancang Bangun Dan Pengujian Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Tipe Serpentine Pada Split Air Conditioning Water Heater". Skripsi, Fakultas Teknik, Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, Depok, (2011).