

SIMULASI KARAKTERISTIK ALIRAN DAN SUHU FLUIDA PENDINGIN (H₂O) PADA TERAS REAKTOR NUKLIR SMR (*SMALL MODULAR REACTOR*)

***Anwar Ilmar Ramadhan, Indra Setiawan, M. Ivan Satryo**
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jl. Cempaka Putih Tengah No 27 Jakarta 10510
*E-mail: airamadhan@yahoo.com

ABSTRACT

Safety is an issue that is of considerable concern in the design, operation and development of a nuclear reactor. Therefore, the method of analysis used in all these activities should be thorough and reliable so as to predict a wide range of operating conditions of the reactor, both under normal operating conditions and in the event of an accident. Performance of heat transfer to the cooling of nuclear fuel, reactor safety is key. Poor heat removal performance would threaten the integrity of the fuel cladding which could further impact on the release of radioactive substances into the environment in an uncontrolled manner to endanger the safety of the reactor workers, the general public, and the environment. This study has the objective is to know is profile contour of fluid flow and the temperature distribution pattern of the cooling fluid is water (H₂O) in convection in to SMR reactor with fuel sub reed arrangement of hexagonal in forced convection. In this study will be conducted simulations on the SMR reactor core used sub channel hexagonal using CFD (Computational Fluid Dynamics) code. And the results of this simulation look more upward (vector of fluid flow) fluid temperature will be warm because the heat moves from the wall to the fluid heater. Axial direction and also looks more fluid away from the heating element temperature will be lower.

Keywords: CFD, Forced Convection, Sub Channel, Small Modular Reactor

1. PENDAHULUAN

Kinerja perpindahan panas dari bahan bakar nuklir ke pendingin, merupakan kunci utama keselamatan reaktor. Kinerja pengambilan panas yang buruk akan mengancam integritas kelongsong bahan bakar yang selanjutnya dapat berdampak pada pelepasan zat radioaktif ke lingkungan secara tidak terkendali sehingga membahayakan keselamatan pekerja reaktor, masyarakat umum, dan lingkungan hidup. Fenomena-fenomena yang terjadi dalam aliran konveksi termasuk kedalam turbulen atau laminar juga mempengaruhi koefisien perpindahan panas tersebut. Pada PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) untuk penelitian ini digunakan salah satu jenis reaktor dengan daya rendah yaitu SMR (*Small Modular Reaktor*). Besaran termohidrolika seperti tekanan, laju aliran pendingin dan temperatur bahan bakar perlu diketahui, misalkan melalui prediksi perhitungan.

Kim dan El-Genk (1989) yang menggunakan tujuh pemanas elektrik dengan kelongsong terbuat dari *Stainless Steel* (diameter 12.7 mm, panjang 904.4 mm dan tebal dinding kelongsong tersebut 0.89 mm). Panjang bagian yang tidak dipanasi dari bawah seksi uji sepanjang 513 mm. Dan ketujuh pemanas elektrik tersebut dimasukkan ke dalam *shroud plexiglass* heksagonal. yang terisolasi secara termal dengan variasi $P/D = 1.25; 1.38; \text{ dan } 1.5$. Dalam penelitian akan dihasilkan untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas konveksi untuk aliran fluida turbulen dan laminar yang sudah mengalami berkembang penuh secara termal.

2. MATERIAL DAN METODOLOGI

2.1. Langkah-langkah Simulasi

Untuk memudahkan proses simulasi dalam subbab ini akan dijelaskan secara bertahap proses simulasi yang dimulai dari pembentukan geometri. Secara keseluruhan proses tersebut terdiri dari enam langkah yaitu:

- 1) Membuat model Sub buluh segi enam
- 2) Membuat mesh
- 3) Menentukan boundary condition
- 4) Menentukan kondisi fisik model
- 5) Menentukan parameter penyelesaian dan menjalankan simulasi
- 6) Menampilkan hasil simulasi

2.2. Alat dan Bahan

2.2.1. Alat

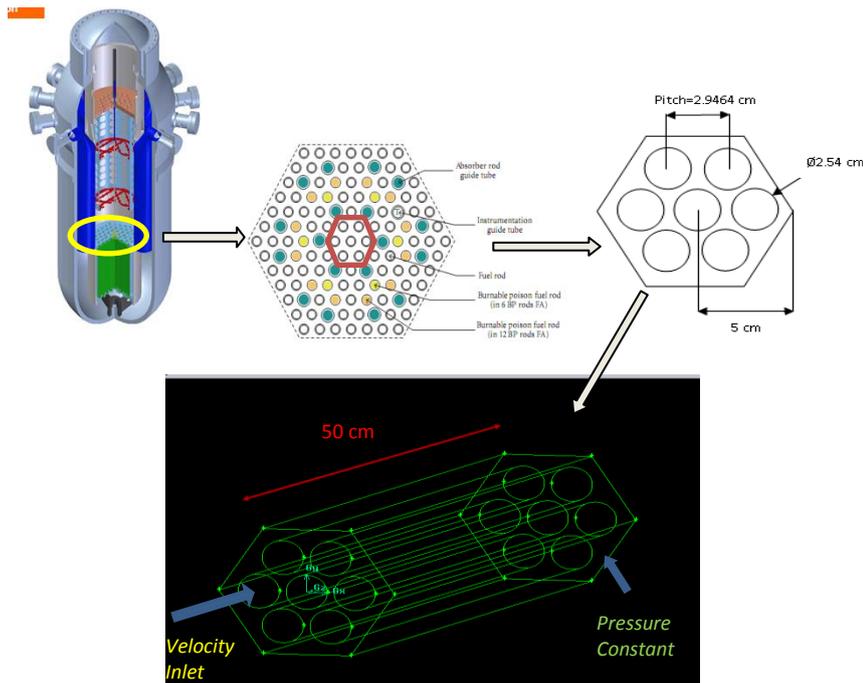
Pada penelitian ini alat yang digunakan ialah *software* CFD (*Computational Fluid Dynamics*) Code, yang terdiri dari GAMBIT dan FLUENT versi 6.2.16 sebagai perangkat simulasi awal pengolahan data perpindahan panas fluida pendingin pada teras reaktor tipe segi enam.

2.2.2. Bahan yang digunakan

Pada penelitian ini akan mendesain model teras reaktor nuklir berupa susunan silinder pemanas disusun secara sub buluh dengan susunan silinder pemanas berbentuk segi enam. Pada Gambar 1. terlihat desain teras reaktor yang akan diteliti. Terdiri dari 7 buah batang pipa berbentuk silinder yang terbuat dari *stainless steel* berdiameter 2.54 cm panjang pipa 50 cm jarak *pitch* 2.9464 cm dengan *Pitch/Diameter (P/D)* 1.16.

2.3. Pembuatan Model Sub Buluh Susunan segienam dan simulasi.

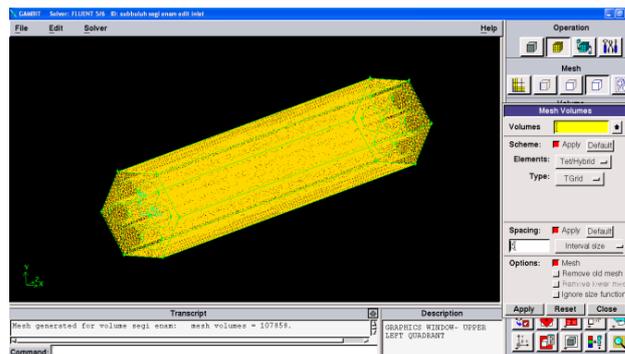
Hal yang perlu dilakukan pertama kali sebelum melakukan proses simulasi adalah membuat model yang terjadi pada subbuluh susunan segi enam. Dalam hal ini model yang dibuat adalah berupa model *volume*. Asumsi penyederhanaan model yang dilakukan adalah menganggap model subbuluh susunan segi enam sama dengan teras reaktor SMR (*Small Reactor Modular*) tipe Heksagonal dan fluks panas yang dihasilkan seragam. Dalam pembuatan model ini menggunakan software GAMBIT sebagai pembuatan model. Dan model yang akan disimulasikan pada skripsi ini adalah seperti dibawah ini:



Gambar 1. Pemodelan pada reaktor SMR sub buluh susunan segi enam

2.3.1. Meshing

Meshing adalah proses dimana geometri secara keseluruhan dibagi-bagi dalam elemen-elemen kecil ini nantinya berperan sebagai *control surface* atau volume dalam proses perhitungan yang kemudian tiap-tiap elemen ini akan menjadi inputan untuk elemen disebelahnya. Hal ini akan terjadi berulang-ulang hingga domain terpenyuh. Dalam *meshing* elemen-elemen yang akan dipilih disesuaikan dengan kebutuhan dan bentuk geometri. Dalam skripsi ini aplikasi *meshing* yang dipakai adalah GAMBIT. Dalam penelitian ini semua konfigurasi tipe elemen disimulasikan menggunakan elemen *hybrid* atau *tetrahedron*. Dibawah ini gambar hasil *meshing* dengan konfigurasi *meshing* volum dan *interval size* sebesar 5.



Gambar 2. Hasil *meshing* dari GAMBIT

2.3.2. Pemodelan Numerik dengan FLUENT

FLUENT adalah salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga. FLUENT menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh* yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah. Jenis *mesh* yang didukung FLUENT adalah tipe 2D *triangular-quadrilateral*, 3D *tetrahedral-hexahedral-pyramid-wedge*, dan *mesh* campuran (*hybrid*). FLUENT juga menyediakan fasilitas untuk memperhalus atau memperbesar *mesh* yang sudah ada. Secara umum langkah-langkah dalam melakukan analisis CFD dengan menggunakan FLUENT. Adapun 15 langkah analisis dengan FLUENT adalah sebagai berikut:

- 1) Membuat geometri dan *mesh* pada model yang dilakukan dengan menggunakan paket program GAMBIT,
- 2) Memilih solver yang tepat untuk model tersebut (2D atau 3D),
- 3) Mengimpor *mesh/grid* model,
- 4) Melakukan pemeriksaan pada *mesh*,
- 5) Memilih formulasi *solver*,
- 6) Memilih persamaan dasar yang akan dipakai dalam analisis, misalnya: laminar, turbulen, reaksi kimia, perpindahan kalor, dan lain-lain,
- 7) Menentukan sifat material yang akan dipakai,
- 8) Menentukan kondisi batas,
- 9) Mengatur parameter kontrol solusi, seperti: *under relaxation factors*, *pressure velocity coupling* dan skema diskritisasi,
- 10) Insialisasi medan aliran,
- 11) Melakukan perhitungan/iterasi,
- 12) Memeriksa hasil iterasi,
- 13) Menyimpan hasil iterasi,
- 14) Jika perlu, memperhalus grid kemudian dilakukan iterasi ulang untuk mendapatkan hasil yang lebih baik,
- 15) Melakukan analisis paska proses, misalnya mengambil data temperatur dan kecepatan fluida serta nilai sifat-sifat fisik fluida yang diperlukan dalam perhitungan selanjutnya.

2.3.3. Input Nilai Parameter-Parameter pada FLUENT

Pemodelan numerik dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat FLUENT versi 6.2.16. Simulasi numerik terhadap volume atur yang telah dibuat dengan program GAMBIT dilakukan untuk kondisi *steady*. Dalam pemodelan numerik tersebut, diperlukan beberapa asumsi, antara lain: 1) Perpindahan panas secara konduksi pada dinding dalam maupun luar pada model sub buluh heksagonal diabaikan, dan 2) Perpindahan panas radiasi dari dinding dalam maupun luar pada model sub buluh heksagonal diabaikan.

Tahap-tahap yang dilakukan dalam pemodelan numerik adalah sebagai berikut:

- 1) Mendefinisikan model.
 - Solver
Pada penelitian ini digunakan pressured based karena aliran yang dianalisis bersifat *inkompresibel* dengan kecepatan rendah.
 - Energi
Persamaan energi harus diaktifkan agar dapat memodelkan proses perpindahan panas yang terjadi dalam sistem.
 - *Viscous*
Jenis aliran di-set pada kondisi turbulen.
- 2) Menentukan properties material yang digunakan.
Jenis fluida yang digunakan adalah air. Sifat-sifat fisik air seperti densitas, viskositas, konduktivitas termal, dan panas jenis dimodelkan sebagai fungsi temperatur. Dan bahan dari silinder pemanas *stainless steel*.

Tabel 1. Propertis material dari air dan *stainless steel*

Propertis material	Air	<i>stainless steel</i>
Density [kg/m ³]	998.2	8030
C _p (Kapasitas panas) [J/kgK]	4182	502.48
Konduktivitas termal [W/mK]	0.6	16.27
Viskositas [kg/ms]	0.001003	-

- 3) Menentukan kondisi operasi.
Pengaruh percepatan gravitasi juga diikutsertakan dalam sistem dengan nilai 9.8 m/s. *Gauge Pressure* = 0 Pa.
- 4) Menentukan kondisi batas (*boundary condition*).
Pada pemodelan numerik, setting kondisi batas pada volume atur dilakukan dengan memasukkan nilai kuantitatif dari parameter-parameter yang terkait tipe *boundary*, diantaranya besar fluks panas pada permukaan silinder pemanas. Konfigurasi panas pada permukaan didekati dengan fluks panas konstan. Nilai-nilai parameter sebagai kondisi batas volume atur ditunjukkan pada Tabel 2.

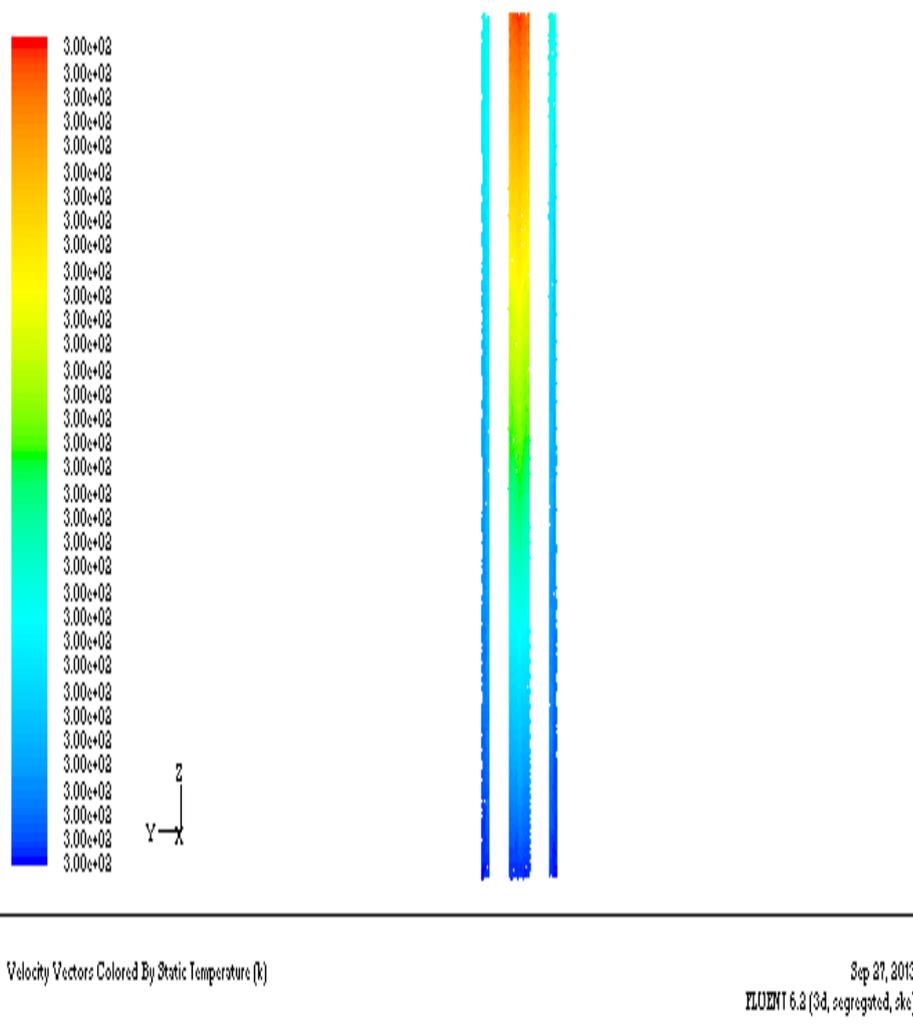
Tabel 2. Input nilai parameter-parameter kondisi batas

Type Boundary	Parameter	Nilai
Lubang masukan:	Kecepatan air masuk	1 ;2 ;3 ;4 ;5 m/s
Velocity inlet	Temperatur	300 K
Lubang Keluaran	Gauge Pressure	0 Pa
	Backflow temperature	300 K
Silinder pemanas	Fluks panas	100; 500; 1000; 5000; 10000; 15000; 20000 W/m ²

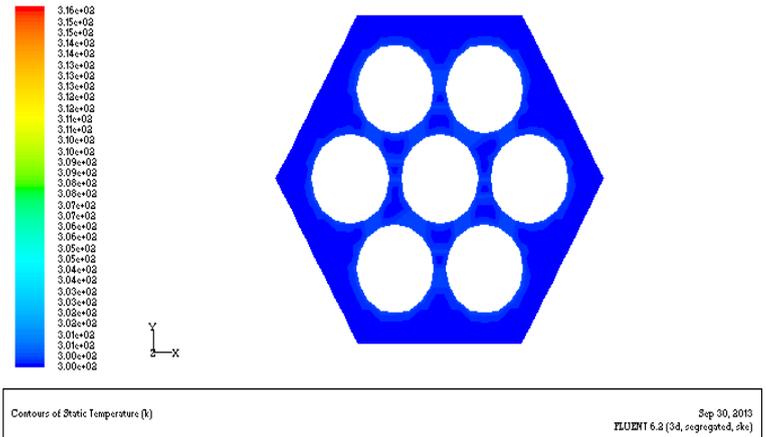
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik temperatur pada perpindahan panas konveksi ditunjukkan pada Gambar 3 sampai dengan 9. Dari Gambar 3 terlihat bahwa temperatur fluida akan mengalami peningkatan yang hampir sama mulai dari ujung bawah silinder pemanas sampai ujung atas silinder pemanas. Hal ini disebabkan karena adanya perpindahan panas dari silinder pemanas ke fluida sehingga menyebabkan temperatur fluida akan naik. Perpindahan panas antara batas benda padat dan fluida terjadi dengan adanya suatu gabungan dari konduksi dan angkutan (transport) energi.

Jika benda padat tersebut mempunyai temperatur di permukaannya lebih tinggi dari pada temperatur fluida, maka terlebih dahulu panas mengalir dengan cara konduksi dari benda padat ke partikel-partikel fluida yang berada di dekat dinding. Energi yang berpindah dengan cara konduksi tersebut meningkatkan energi dalam fluida dan terangkut oleh gerakan fluida. Bila partikel – partikel fluida yang terpanaskan itu mencapai daerah yang temperaturnya lebih rendah, maka panas berpindah dari fluida yang lebih panas ke fluida yang lebih dingin.

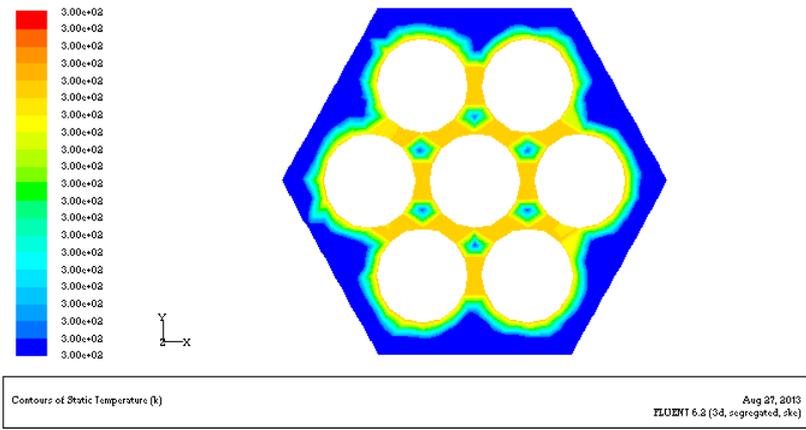


Gambar 3. Kontur temperatur fluida di sub buluh tampak samping (konveksi dengan kecepatan = 2 m/s dan fluks panas = 1000 W/m²).



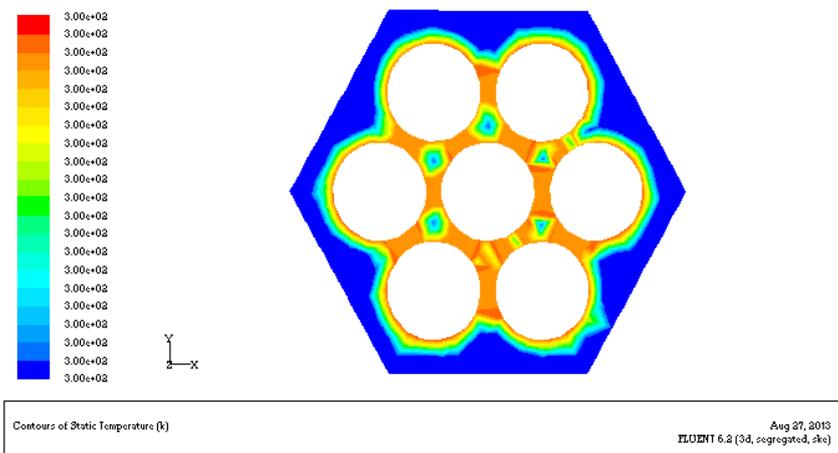
Gambar 4. Kontur temperatur fluida di ketinggian 0 m ($z = 0$ m) dalam sub buluh (konveksi dengan kecepatan = 2 m/s dan fluks panas = 1000 W/m²).

Pada Gambar 8 terlihat warna biru yang menunjukkan temperatur masih rendah. Karena disini fluida baru masuk kedalam subbuluh atau pada posisi *inlet*.



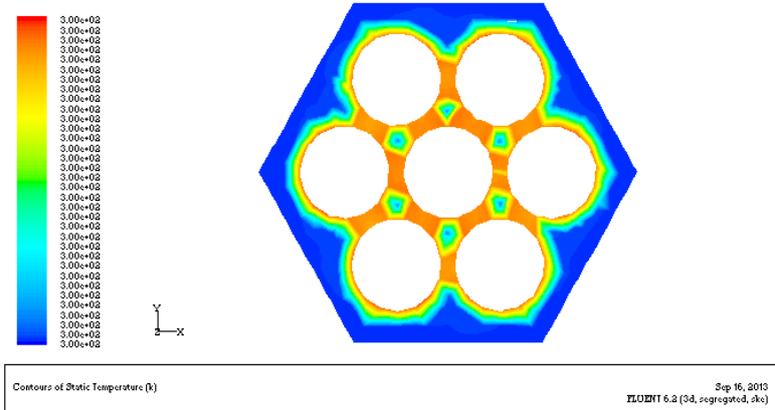
Gambar 5. Kontur temperatur fluida di ketinggian 0.1 m ($z = 0.1$ m) dalam sub buluh (konveksi dengan kecepatan = 2 m/s dan fluks panas = 1000 W/m²).

Pada ketinggian 0.1 m terlihat temperatur di tengah subbuluh mulai meningkat karena air sudah mulai menyerap panas dari dinding fluida.

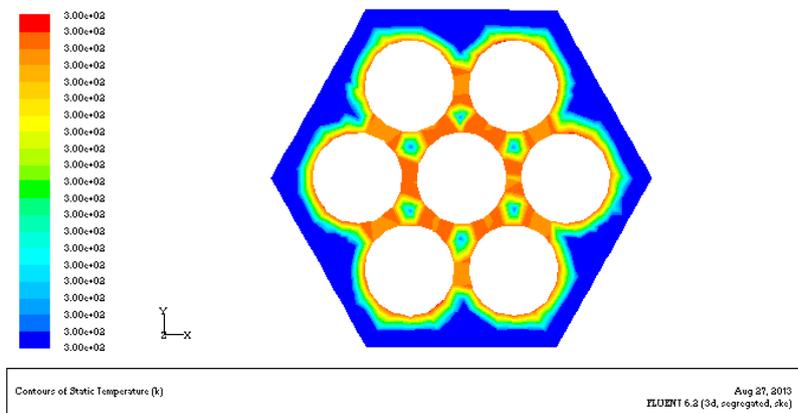


Gambar 6. Kontur temperatur fluida di ketinggian 0.2 m ($z = 0.2$ m) dalam sub buluh (konveksi dengan kecepatan = 2 m/s dan fluks panas = 1000 W/m²).

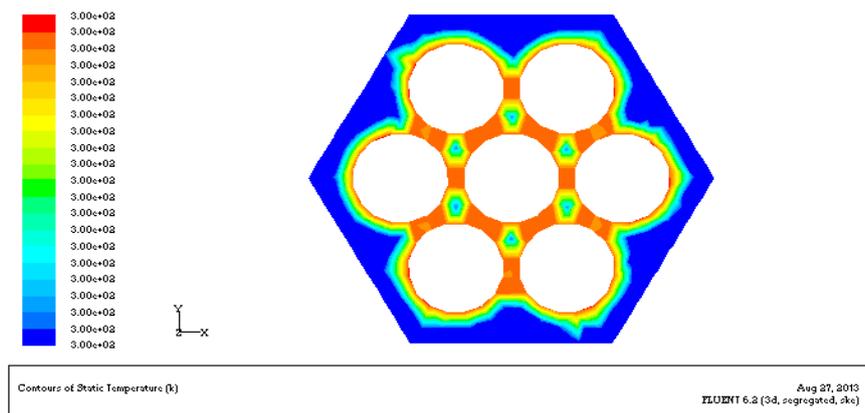
Pada ketinggian 0.2 m terlihat jelas temperatur semakin meningkat seiring kenaikan jarak dari air mulai dari inlet sampai ketinggian 0.2 m.



Gambar 7. Kontur temperatur fluida di ketinggian 0.3 m ($z = 0.3$ m) dalam sub buluh (konveksi dengan kecepatan = 2 m/s dan fluks panas = 1000 W/m²).



Gambar 8. Kontur temperatur fluida di ketinggian 0.4 m ($z = 0.4$ m) dalam sub buluh (konveksi dengan kecepatan = 2 m/s dan fluks panas = 1000 W/m²).

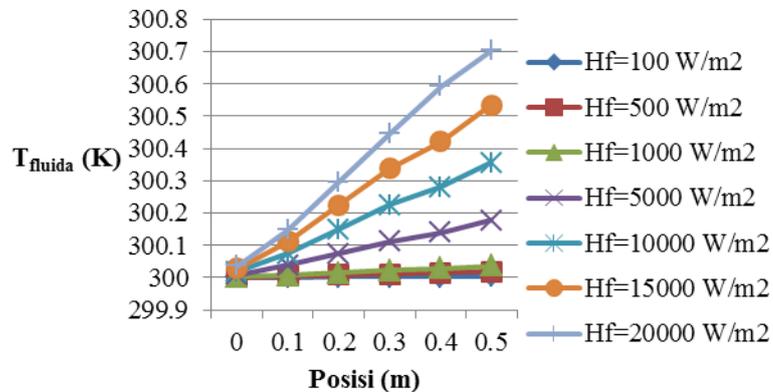


Gambar 9. Kontur temperatur fluida di ketinggian 0.5 m ($z = 0.5$ m) dalam sub buluh (konveksi dengan kecepatan = 2 m/s dan fluks panas = 1000 W/m²).

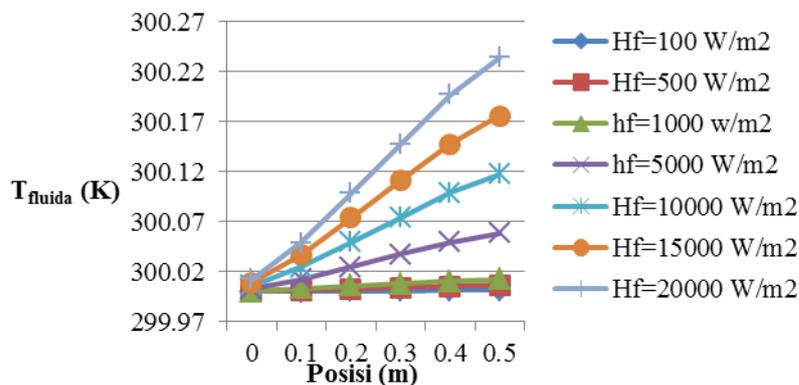
Pada Gambar 9 pada ketinggian 0.5 m atau pada posisi *outlet* terlihat temperatur yang dekat dengan permukaan silinder subbuluh lebih besar karena dipengaruhi oleh lapisan batas termal. Adanya gesekan antara fluida dengan permukaan silinder pemanas, ini juga membuktikan kebenaran dari teori dalam lapisan batas. Semakin jauh dari permukaan pemanas temperaturnya akan semakin berkurang, panas berpindah dari temperatur yang lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Gambar 3 hingga 9 menunjukkan kontur/profil temperatur fluida di sub buluh. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada perpindahan panas konveksi, kontur/profil temperatur air dalam sub buluh terus

berubah untuk setiap ketinggian, mulai dari posisi 0 m sampai 0.5 m. Semakin bertambah ketinggian aliran fluida semakin besar pula temperatur yang ada pada fluida tersebut.

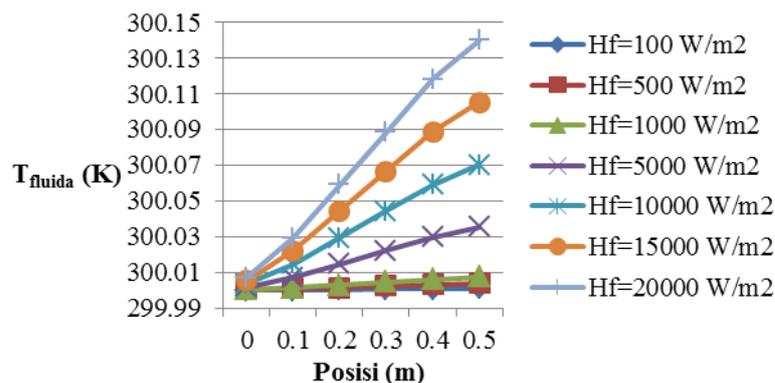
Untuk mengetahui distribusi suhu fluida berdasarkan pengaruh kecepatan aliran untuk 1, 3 dan 5 m/s dapat dilihat seperti pada Gambar berikut ini:



Gambar 10. Grafik temperatur air variasi fluks panas di sub buluh pada perpindahan panas konveksi dengan kecepatan air masuk 1 m/s



Gambar 11. Grafik temperatur air variasi fluks panas di sub buluh pada perpindahan panas konveksi dengan kecepatan air masuk 3 m/s



Gambar 12. Grafik temperatur air variasi fluks panas di sub buluh pada perpindahan panas konveksi dengan kecepatan air masuk 5 m/s

Dari Gambar 10 sampai 12 dapat dilihat bahwa semakin besar fluks panas pada pemanas maka temperatur air juga semakin naik, hal ini disebabkan karena semakin besar fluks panas pada pemanas maka panas yang diserap oleh air juga akan semakin besar. Pada variasi fluks panas dari 100 W/m² sampai 1000 W/m², kenaikan temperatur fluida tidak terlalu signifikan karena temperatur yang dihasilkan oleh fluks panas dari 100 W/m² sampai 1000 W/m² tidak terlalu besar dan pengambilan panas oleh fluida juga tidak terlalu besar. Jadi fluks panas yang kecil tidak terlalu berpengaruh terhadap temperatur fluida dengan kecepatan 1 m/s, 3 m/s, dan 5 m/s.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Semakin bertambah ketinggian aliran fluida semakin besar pula temperatur yang ada pada fluida tersebut.
- 2) Semakin jauh dari permukaan pemanas temperaturnya akan semakin berkurang, panas berpindah dari temperatur yang lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah, dimana elemen pemanas akan menimbulkan fluks panas dan temperatur akan mengalir dari dinding elemen pemanas ke fluida.
- 3) Untuk posisi pengukuran yang sama, semakin besar fluks panas yang diberikan ke dinding pemanas, maka semakin tinggi pula temperatur dinding pemanas. Begitu juga dengan temperatur fluida, semakin besar fluks panas maka temperatur fluida juga semakin tinggi.

5. REFERENSI

- [1] Gimenez., M.O., 2011, *CAREM Technical Aspects, Project and Licensing Status*, Interregional Workhsop on Advanced Nuclear Reactor Technology, Vienna
- [2] Kim, S.H., & El-Genk, M. S.,1989, *Heat Transfer experiments for low flow of water in rod bundles*, Int. J. Heat Mass Transfer, 1321 - 1336
- [3] Kreith. Frank. *Prinsip-prinsip Perpindahan panas*, 1994, Jakarta, Penerbit Erlangga
- [4] Ramadhan, A.I, 2012, *Analisis Perpindahan Panas Fluida Pendingin Nanofluida Di Teras Reaktor PWR (Pressurized Water Reactor) Dengan Computational Fluid Dynamics*, Tesis Program Magister, Universitas Pancasila, Jakarta
- [5] Septilarso, A, 2010, *Kaji Teoritik Perpindahan Panas Konveksi Alamiah, Paksa, dan Gabungan dengan sub buluh susunan heksagonal*, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung, Bandung