

Pemodelan Distribusi Temperatur Pada Teras Reaktor Berdasarkan Variasi Laju Aliran Pendingin Menggunakan *Computational Fluid Dynamics*

Imam Muhamad Sidiq^{1,a)}, Sudjatni Kustituantini Soedjadi^{2,b)}, Hasniah Aliah^{1,c)}

¹Jurusan Fisika,
Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung,
Jl. A. H. Nasution no. 105 Bandung, Indonesia, 40614

²Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan,
Badan Tenaga Nuklir Nasional,
Jl. Tamansari no. 71 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)} imammsaqb1998@gmail.com (corresponding author)

^{b)} sudjatni@batan.go.id

^{c)} hasniahaliah@uinsgd.ac.id

Abstrak

Penelitian tentang distribusi temperatur menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD) telah berhasil dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan distribusi temperatur pada teras reaktor nuklir berdasarkan variasi laju aliran pendingin. Hasil simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) menunjukkan bahwa tidak terlalu banyak perbedaan dalam distribusi temperatur pada teras reaktor. Hal ini karena variasi laju aliran pendingin tidak terlalu besar, untuk kecepatan yang lebih rendah distribusi temperatur terpusat dibahan bakar, sedangkan untuk laju aliran yang cukup besar, distribusi temperatur mulai mencapai ke outlet. Dalam penelitian ini hasil simulasi harus divalidasi secara eksperimen untuk menunjukkan bahwa adanya perbedaan distribusi temperatur terhadap variasi laju aliran pendingin dengan memperbesar dan memperbanyak variasi laju aliran pendingin.

Kata-kata kunci: Computational Fluid Dynamics, distribusi temperatur, aliran pendingin

PENDAHULUAN

Energi nuklir memiliki beberapa manfaat terutama dibidang energi, pertanian, kedokteran, lingkungan, industri dan lain-lain. Sekian banyak manfaat dari nuklir tersebut salah satunya dibidang energi. Energi nuklir sendiri dihasilkan dari reaktor nuklir dimana hasil dari reaksi fisi inti menghasilkan unsur baru serta melepaskan energi yang cukup besar, energi yang cukup besar inilah yang nantinya dimanfaatkan untuk diubah menjadi energi listrik melalui proses perubahan energi panas menjadi energi listrik menggunakan generator.

Salah satu hal penting yang harus kita ketahui dalam pemanfaatan energi nuklir adalah tentang reaktor nuklir, sebagai tempat reaksi fisi inti tentu reaktor nuklir ini harus didesain sedemikian rupa agar jangan sampai reaktor nuklir mengalami kebocoran atau kerusakan yang mengakibatkan terlepasnya radiasi nuklir dari reaktor nuklir yang tentunya dapat membahayakan lingkungan sekitar. Dalam perancangan reaktor nuklir ada tiga analisis yang harus dilakukan yakni analisis neutronik, analisis termal hidraulik, dan analisis termodinamika. Salah satu bidang yang cukup menarik untuk diteliti adalah bidang termal hidraulik, dimana bidang termal hidraulik ini memperhitungkan distribusi panas melalui proses perpindahan panas serta mekanika fluida. Dalam bidang termal hidraulik ini kita harus mengetahui bagaimana panas terdistribusi di dalam teras reaktor,

apakah panas dapat terdistribusi secara merata di dalam teras reaktor atau tidak. Sehingga kita dapat mengantisipasi terjadinya kebocoran reaktor nuklir karena tidak mampu menahan panas yang dihasilkan dari reaksi inti, dengan cara mendinginkan teras reaktor nuklir menggunakan air yang dipompa ke dalam teras reaktor nuklir atau di kenal sebagai aliran pendingin. Oleh karena itu akan diteliti bagaimana panas terdistribusi pada teras reaktor nuklir menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD), dengan metode ini diharapkan dapat mengetahui bagaimana panas terdistribusi dan kaitannya dengan laju aliran pendingin di dalam teras reaktor nuklir.

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

Secara istilah CFD adalah suatu teknologi komputasi yang digunakan untuk mempelajari dinamika dari benda-benda atau zat-zat mengalir. Secara definisi CFD adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya, dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika (model matematika) [1]. CFD merupakan metode penghitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap elemen pembagi. Penyelesaian metode CFD dalam FLUENT menerapkan metode volume hingga dimana domain subyek penyelesaian persamaan tersebut dibagi menjadi himpunan volume atur yang disebut dengan *mesh/grid* [2].

Pada dasarnya persamaan-persamaan pada fluida dibangun dan dianalisis berdasarkan persamaan-persamaan diferensial parsial (*Partial Differential Equation*) yang merepresentasikan hukum-hukum konservasi massa, momentum, dan energi [1].

Persamaan Konservasi Massa

Persamaan konservasi massa atau persamaan kontinuitas dapat ditulis sebagai berikut

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot \vec{v}) = S_m \quad (1)$$

Persamaan 1 adalah bentuk umum dari persamaan konservasi massa dan berlaku untuk aliran *incompressible* dan *compressible*. S_m adalah massa yang ditambahkan dalam fasa kontinu fasa kedua yang terdispersi seperti karena penguapan cairan [3].

Persamaan Konservasi Momentum

Konservasi momentum dalam kerangka inersial (tanpa percepatan) adalah

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\tau) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

dimana p adalah tekanan statik, τ adalah tensor tegangan dan $\rho \vec{g}$ dan \vec{F} adalah gaya gravitasi dan gaya dari luar [3].

Persamaan Konservasi Energi

Persamaan Energi dapat ditulis sebagai berikut

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v} (\rho E + p)) = \nabla \cdot \left(k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\tau_{eff} \cdot \vec{v}) \right) + S_h \quad (3)$$

dimana k_{eff} adalah konduktivitas efektif $k + k_t$, dimana k_t adalah konduktivitas termal turbulen, di definisikan sesuai dengan model turbulensi yang digunakan) \vec{J}_j adalah fluks difusi dari j , $k_{eff} \nabla T$ adalah perpindahan energi karena konduksi, $\sum_j h_j \vec{J}_j$ adalah difusi spesies, $\tau_{eff} \cdot \vec{v}$ adalah disipasi viskos, dan S_h adalah panas dari reaksi kimia [3].

GAMBIT

GAMBIT merupakan singkatan dari *Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*. Perangkat lunak GAMBIT merupakan salah satu preprocessor yang di desain untuk membantu membuat model dan melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model untuk analisis CFD. Karena menggunakan *Graphical User Interface* (GUI) saat penerimaan input, GAMBIT memudahkan penggunaannya dalam pembuatan model dan proses *meshing*. GAMBIT dapat mengakomodasi berbagai macam aplikasi pemodelan dan mengimpor dari berbagai format seperti ACIS, STEP, Parasolid, IGES, dan lain-lain, sehingga membuat pemodelan yang akan dilakukan lebih fleksibel (dapat digabungkan dengan berbagai format dari software pemodelan lain).

GAMBIT dapat membuat model dan melakukan proses *meshing* untuk berbagai macam bentuk, termasuk bentuk-bentuk yang rumit dan tidak beraturan. Hal ini di karenakan GAMBIT dapat melakukan *meshing* dengan berbagai macam bentuk mesh, yaitu mesh heksahedral terstruktur dan tidak terstruktur, tetrahedral, pyramid, dan prisma. Selain itu GAMBIT juga dapat dilakukan pengecekan kualitas mesh sesuai dengan standar yang kita inginkan. Tahap pemodelan terakhir pada GAMBIT adalah proses penentuan jenis kondisi batas. Mesh yang telah dibuat pada GAMBIT dapat diekspor ke semua solver FLUENT, termasuk FIDAP dan POLYFLOW.[1]

FLUENT

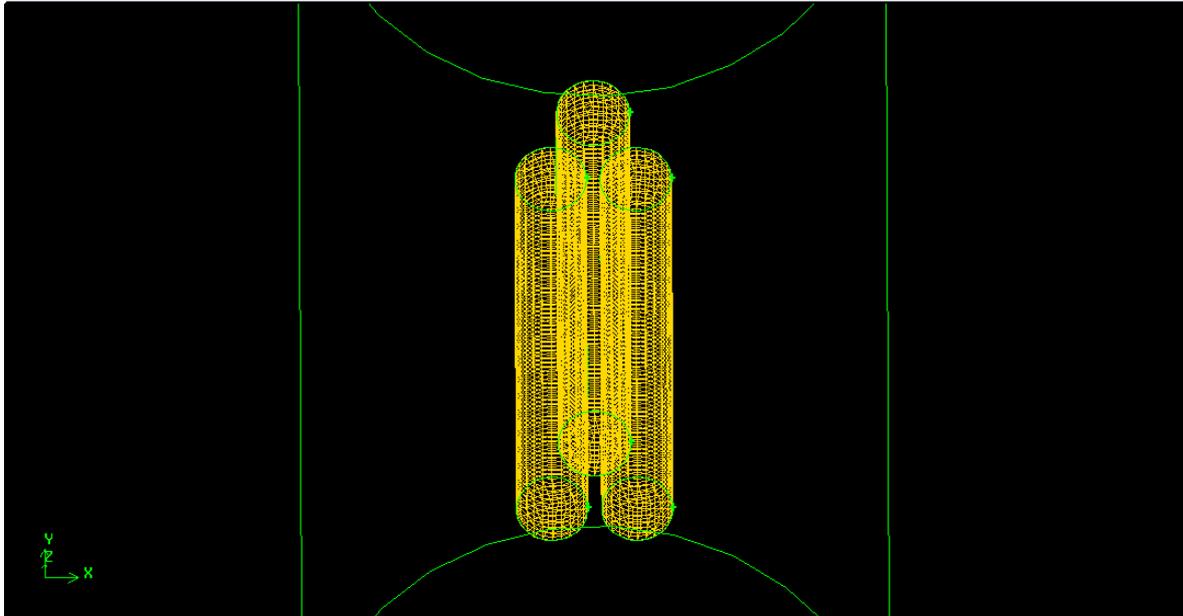
FLUENT adalah salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga. FLUENT menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh* (*grid*) yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah. Jenis mesh yang di dukung FLUENT adalah tipe 2D *triangular-quadrilateral*, 3D *tetrahedral-hexahedral-pyramid-wedge*, dan mesh campuran (*hybrid*). FLUENT juga memungkinkan anda memperhalus atau memperbesar *mesh* yang sudah ada.

FLUENT di tulis dalam Bahasa C, sehingga memiliki struktur data yang efisien dan lebih fleksibel. FLUENT juga dapat digunakan bersama dengan arsitektur klien atau server, sehingga dapat dijalankan sebagai proses terpisah secara simultan pada klien *desktop workstation* dan *computer server*. [1]

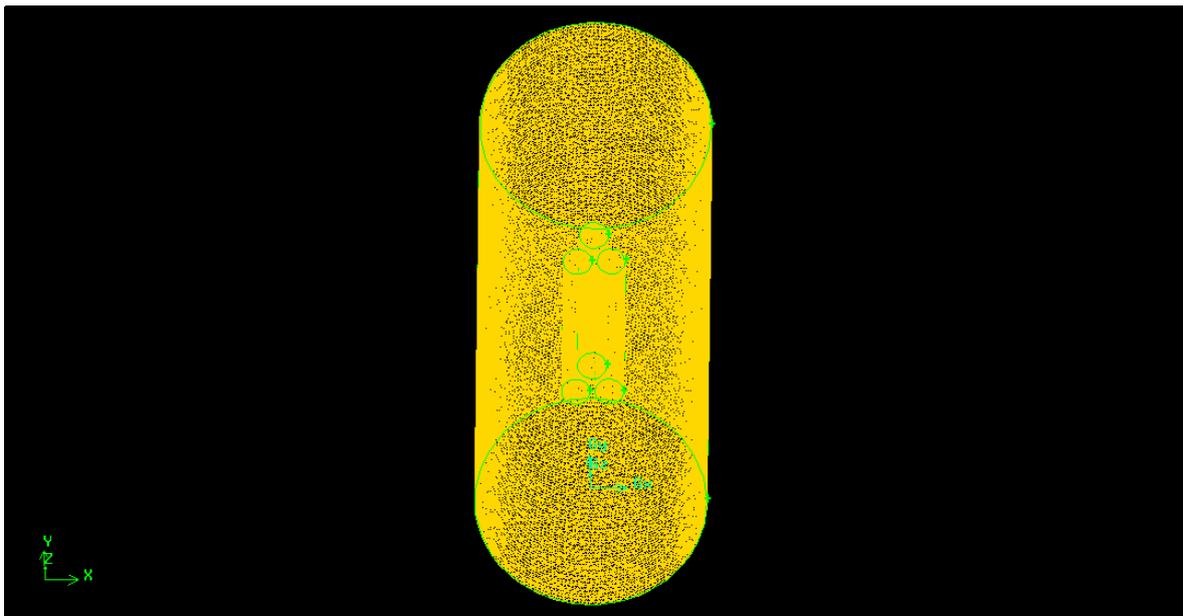
METODE PENELITIAN

Tahap Pemodelan dan Meshing

Pemodelan berbasis komputasi dilakukan untuk mendapatkan distribusi temperatur dan aliran pendingin di dalam teras reaktor nuklir. Pembuatan geometri susunan bahan bakar dan teras reaktor berbasis 3 Dimensi dengan bentuk silinder dan dihitung menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic*. Setelah dilakukan pembuatan geometri susunan bahan bakar dan teras reaktor, selanjutnya adalah proses *meshing*. Seluruh ruang volume dibagi ke dalam volume yang lebih kecil lagi. Ukuran *mesh* yang di gunakan dalam penelitian ini adalah 0.5 untuk bahan bakar dengan bentuk *mesh Hexahedral/Wedge - Cooper* dan 1 untuk teras reaktor dengan bentuk *mesh Tetrahedral/Hybrid - Tgrid*. Penggunaan *mesh Hexahedral/Wedge - Cooper* pada bahan bakar dan *Tetrahedral/Hybrid - Tgrid* pada teras reaktor nuklir dikarenakan secara kualitas hasil mesh yang digunakan sangat baik saat diterapkan pada bahan bakar dan teras reaktor serta didasarkan pada nilai *EquiAngle Skew* yaitu nilai yang menggambarkan kualitas mesh, dimana jika nilai *EquiAngle Skew* kurang dari 0.9 maka mesh dianggap baik sehingga dapat mempercepat perhitungan dan mencapai konvergensi serta menghasilkan solusi yang akurat. Hasil *mesh* pada susunan bahan bakar memiliki jumlah *mesh* 4992 dan 5120, sedangkan model teras reaktor memiliki jumlah *mesh* 624835 serta nilai *EquiAngle Skew* 0.399239



Gambar 1. Hasil Mesh pada Bahan Bakar



Gambar 2. Hasil Mesh pada Teras Reaktor

Tahap Pendefinisian Model

Pendefinisian model meliputi *solver*, *energy*, dan *viscous*. Model *solver* (teknik penyelesaian persamaan) di dalam FLUENT terdiri dari 2 jenis yaitu *Pressure-Based Solver* (PBS) dan *Density Based Solver* (DBS). Model *Pressure Based Solver* dipilih sebagai model solver, dimana perhitungan dilakukan secara bertahap dari persamaan konservasi massa, momentum, dan juga energi. Persamaan energi harus diaktifkan untuk mensimulasikan temperatur dan energi perpindahan panasnya dan untuk model *viscous* yang digunakan adalah model laminar [4].

Tahap Penentuan Kondisi Batas

Penentuan kondisi batas model aliran pendingin berdasarkan model bahan bakar silinder. Bahan bakar didefinisikan sebagai *wall* (dinding) dengan temperatur dari bahan bakar sebesar 135°C dimana temperatur ini

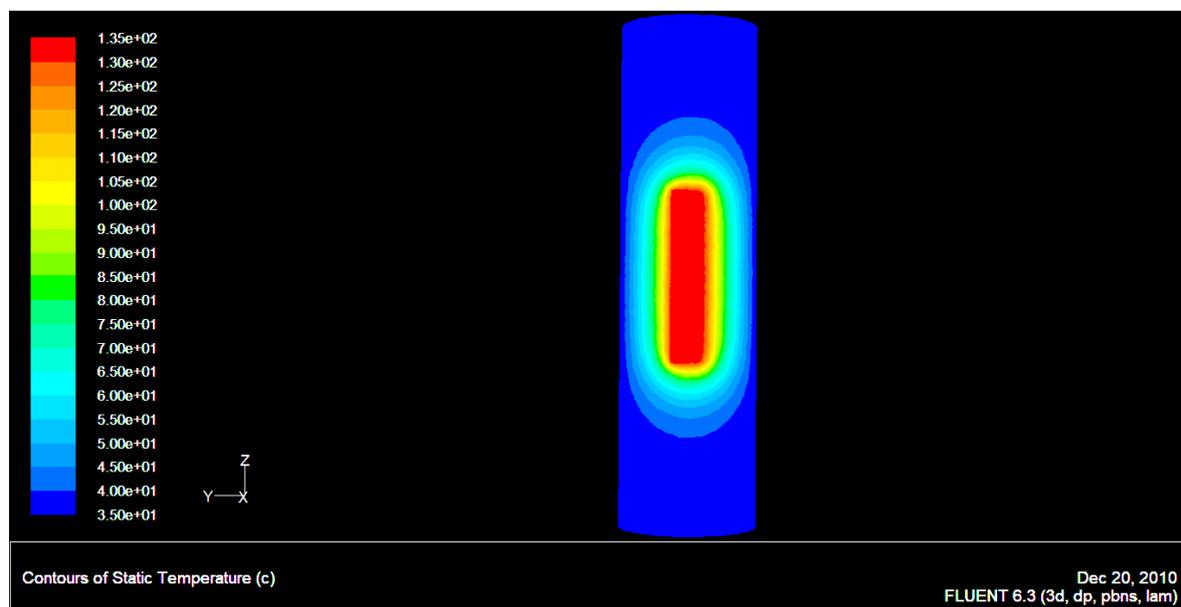
merata di sepanjang bahan bakar agar mempermudah dalam perhitungan dan mencapai konvergensi, lalu material bahan bakar berupa aluminium. Ruang volume aliran pendingin menggunakan fluida air dengan temperatur 35°C. Untuk bagian *inlet* kita berikan parameter kondisi batas *velocity-inlet* dimana parameter ini menunjukkan bahwa aliran pendingin masuk melalui bagian *inlet*, sedangkan bagian *outlet* di berikan parameter kondisi batas sebagai *outflow* dimana parameter ini menunjukkan bahwa aliran pendingin yang ada di dalam teras reaktor keluar melewati bagian outlet

Tahap Perhitungan

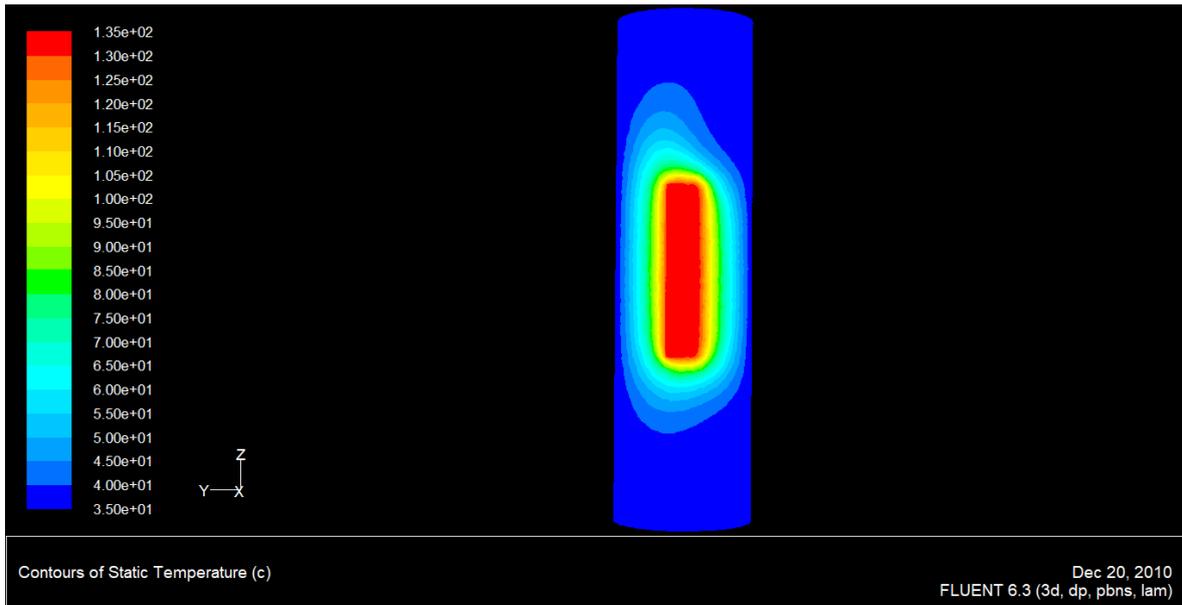
Dalam tahap perhitungan kami menentukan batas nilai *error (residual)* karena nilai ini berkaitan dengan kriteria konvergensi, sehingga ketika konvergensi telah tercapai maka iterasi numerik akan berhenti. Batas nilai *error* untuk semua kriteria (kecepatan aliran, adalah ketika nilainya sama dengan atau lebih kecil dari 10^{-3} , sedangkan untuk persamaan energi nilai error nya adalah 10^{-6} .

HASIL PEMODELAN DAN ANALISIS

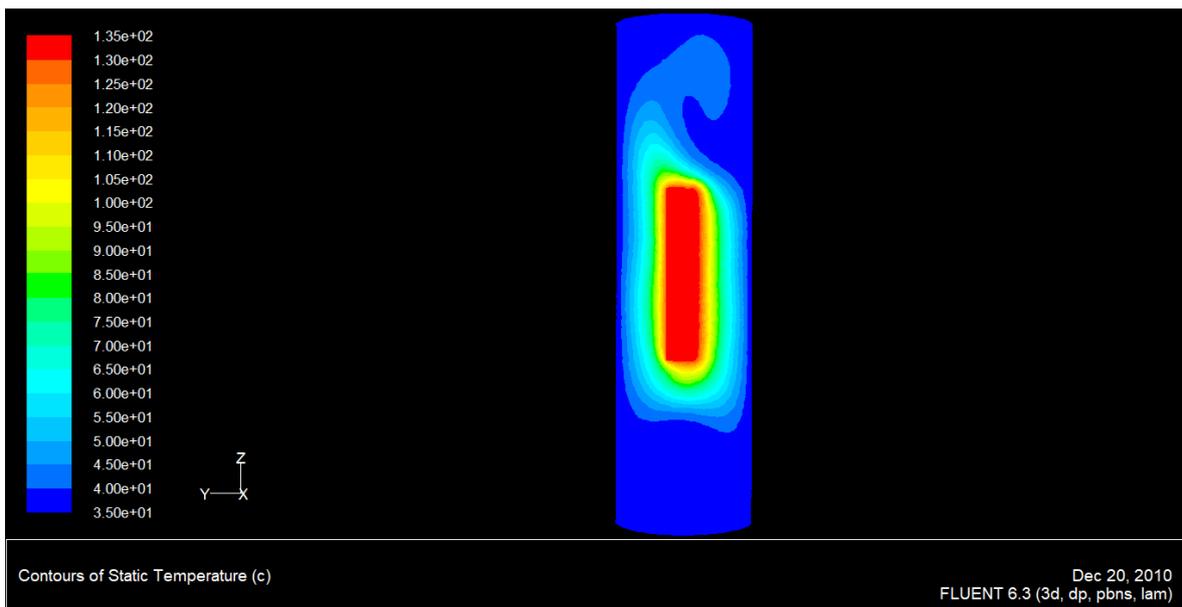
Pemodelan distribusi temperatur pada teras reaktor dibuat dengan software Gambit 2.3 dan dihitung secara numerik menggunakan software Fluent 6.3.



Gambar 3. Distribusi temperatur dengan laju aliran pendingin 0.01 cm/s



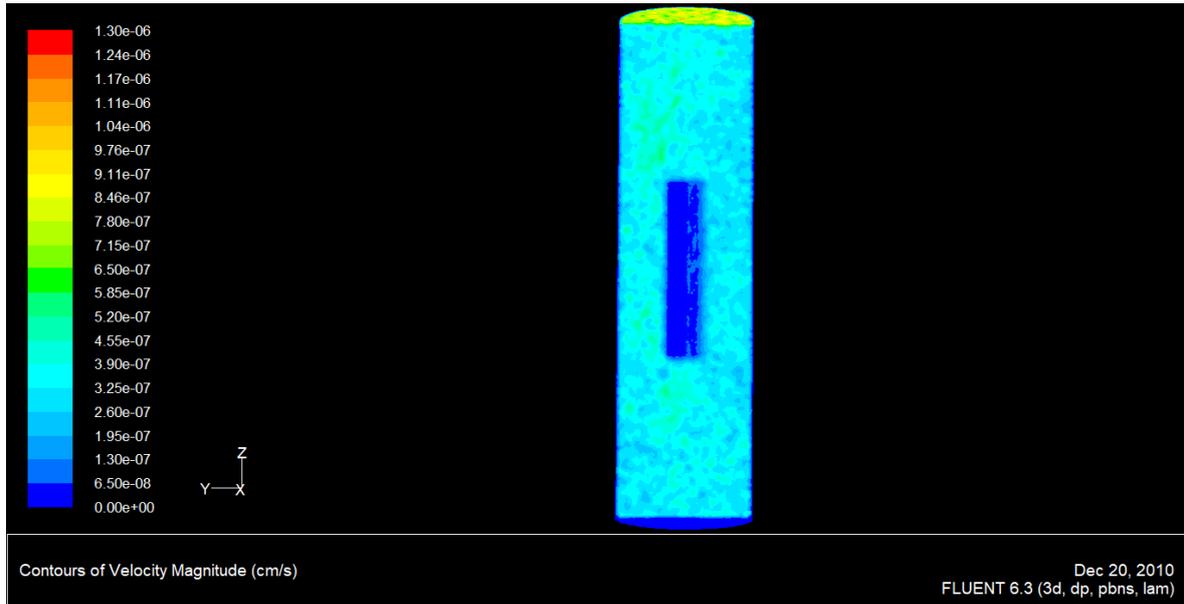
Gambar 4. Distribusi temperatur dengan laju aliran pendingin 0.1 cm/s



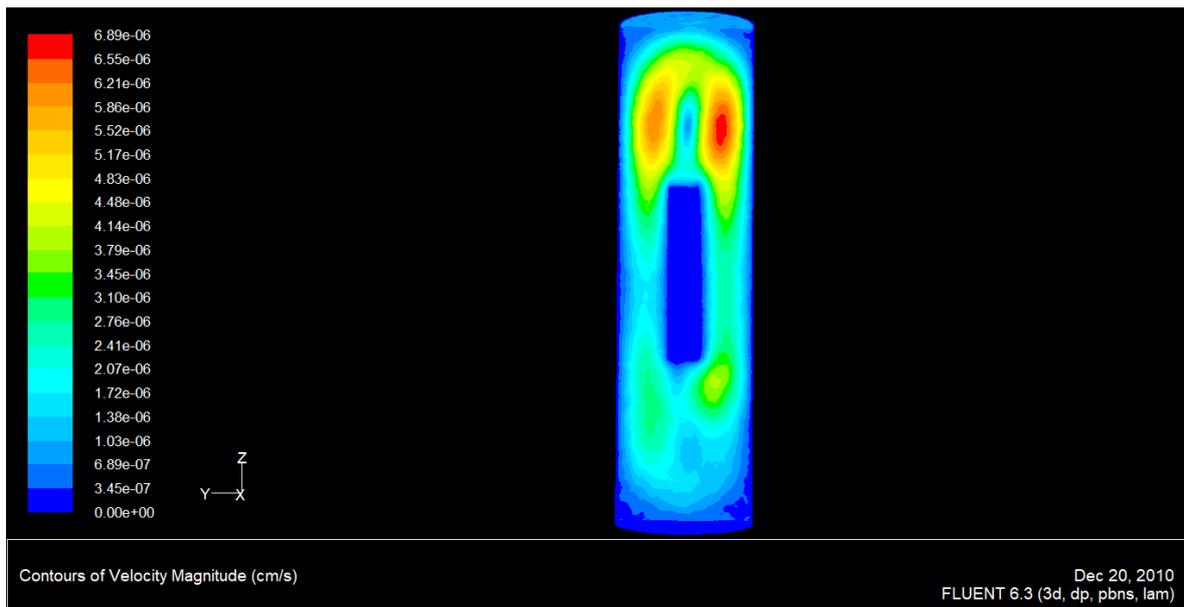
Gambar 5. Distribusi temperatur dengan laju aliran pendingin 1 cm/s

Dalam analisis perbandingan kecepatan aliran pendingin diketahui bahwa distribusi temperatur pada teras reaktor dipengaruhi oleh efek laju aliran pendingin dengan laju masing-masing 0.01, 0.1 dan 1 cm/s yang di tunjukkan pada gambar di atas. Dilihat dari hasil simulasi menunjukkan bahwa distribusi temperatur di dalam teras reaktor tidak begitu banyak berbeda, distribusi temperatur pada teras reaktor untuk laju aliran pendingin yang cukup besar cenderung dapat terdistribusi hingga bagian *outlet*, sedangkan pada laju aliran pendingin yang cukup kecil distribusi terpusat pada sekitar bahan bakar, hal ini dapat terjadi karena dalam variasi laju aliran pendingin perbedaannya tidak begitu besar, mungkin akan terlihat perbedaan distribusi temperatur jika variasi laju aliran pendinginnya diperbesar sehingga akan nampak bahwa laju aliran pendingin juga dapat mempengaruhi distribusi temperatur di dalam teras reaktor. Selain itu dibutuhkan validasi secara eksperimen untuk menunjukkan bahwa laju aliran pendingin mempengaruhi distribusi temperatur di teras reaktor. Sehingga untuk penelitian lebih lanjut harus dibuat percobaan eksperimen untuk dapat memvalidasi hasil simulasi yang telah dilakukan, tetapi untuk gambaran awal dalam pemodelan distribusi temperatur di dalam teras reaktor ini, hasil simulasi ini cukup bisa dijadikan dasar untuk percobaan eksperimen, hanya untuk pemodelan simulasi

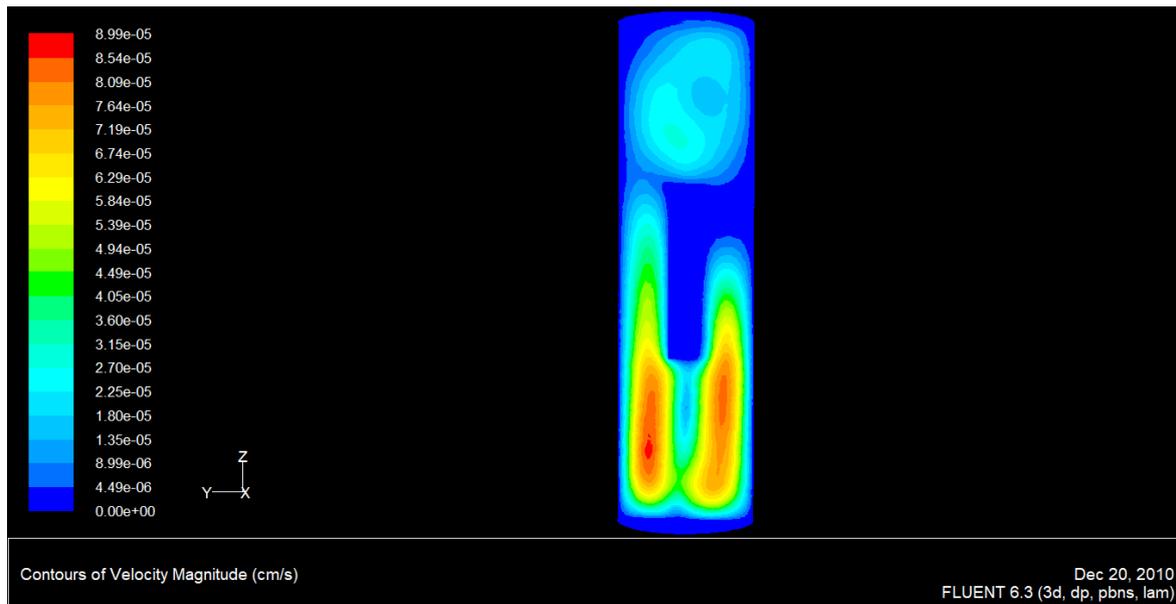
yang berikutnya bisa divariasikan laju aliran pendingin dengan perbedaan yang cukup besar agar dapat terlihat perbedaan pola distribusi temperatur di dalam teras reaktor.



Gambar 6. Profil Kecepatan Aliran di dalam Teras Reaktor pada laju aliran pendingin 0.01 cm/s



Gambar 7. Profil Kecepatan Aliran di dalam Teras Reaktor pada laju aliran pendingin 0.1 cm/s



Gambar 8. Profil Kecepatan Aliran di dalam Teras Reaktor pada laju aliran pendingin 1 cm/s

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi terlihat bahwa tidak terdapat banyak perbedaan dalam pola distribusi temperatur di dalam teras reaktor. Hal ini dikarenakan perbedaan variasi laju aliran pendingin yang tidak terlalu besar sehingga perbedaan distribusi temperatur tidak terlalu jauh. Butuh validasi dengan percobaan secara eksperimen untuk menunjukkan adanya perbedaan distribusi temperatur terhadap variasi laju aliran pendingin, dengan memperbesar atau memperbanyak variasi laju aliran pendingin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BATAN yang telah memfasilitasi penelitian ini dan juga berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung yang telah mendanai makalah penelitian ini

REFERENSI

1. F. Tuakia, Dasar-dasar CFD Menggunakan Fluent. Informatika, Bandung (2008)
2. M. Subekti, M. Juarsa, M. H. Kusuma, Validasi Pemodelan Kode Fluent 6.3 Untuk Perhitungan Aliran Pendingin Darurat Dalam Kanal Sempit PLTN-PWR. Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia (2014)
3. Anonim, Fluent 6.3 User's Guide. Fluent. Inc, Lebanon (2006)
4. M. A. Gofar, Analisis Aliran Pendingin Teras Reaktor Daya Eksperimental (RDE) Menggunakan Fluent, Skripsi S1 Fisika UIN Sunan Gunung Djati, Bandung (2005)