# Analisis Distribusi Kecepatan Aliran Air Masukan Pada Celah Sempit Rektangular Berdasarkan Variasi Laju Alir Menggunakan Fluent 6.3

*Muhamad Agus Puwanto[1,2], Yogi Sirodz Gaos[2], Muhamad Subekti[3], M. Hadi Kusuma[3], Mulya Juarsa[2,3],Ade Amruloh[1,2]*

[1]*Mahasiswa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin*
*Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor*
*Jl. KH. Soleh Iskandar Bogor*

[2]*Engineering Development for Energy Conversion and Consevation (EDfEC) Research Group*
*Fakultas Teknik Univeristas Ibn Khaldun Bogor*
*Jl. KH. Soleh Iskandar Bogor.*
Agus_telari@yahoo.com

[3]Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir Gd. 80 BATAN
Kawasan PUSPIPTEK, Tangerang Selatan 15310
subekti@batan.go.id

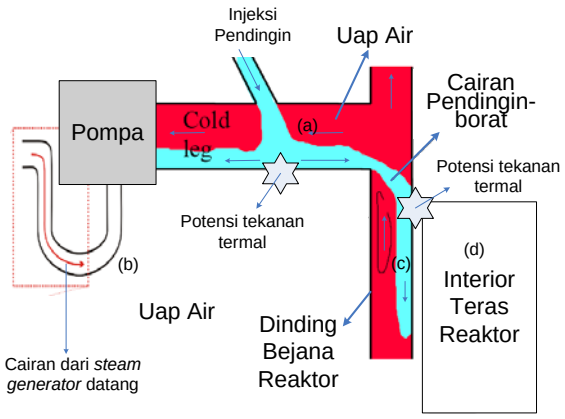
## Abstrak

Analisis distribusi kecepatan aliran air masukan pada celah sempit rektangular merupakan suatu fenomena penting untuk mengetahui proses perpindahan kalor dalam reaktor nuklir. Dimana fenomena perpindahan kalor ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantanya pola aliran, distribusi tekanan, ditribusi temperatur, dan distribusi kecepatan laju aliran. Pada kondisi darurat, pendinginan yang melewati celah bejana tekan menuju ke bawah *downcomer* berpotensi mengalami distribusi kecepatan parsial sehingga mengganggu proses pendinginan awal. Kegagalan pendinginan awal akan berakibat pada distribusi Boron dalam pendingin reaktor menjadi semakin tidak merata pada waktu pendingin darurat baru masuk ke dalam teras reaktor. Oleh karena itu, analisis distribusi kecepatan laju aliran air masukan perlu dilakukan menggunakan teknik CFD yang memperhitungkan kondisi interior volum dari titik fokus analisis. Kode FLUENT 6.3 adalah perangkat lunak yang mampu menghitung distribusi kecepatan aliran secara 3 dimensi dan banyak digunakan dalam analisis keselamatan PLTN. Penelitian ini memvalidasi kode FLUENT 6.3 pada temperatur rendah dengan menggunakan alat eksperimen HeaTiNG-02 yang memodelkan celah sempit rektangular. Kemudian analisis distribusi kecepatan aliran air masukan pada celah sempit rektangular dilakukan untuk mengetahui kemungkinan terjadinya distribusi parsial dalam skala model yang lebih kecil. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan plat vertikal dengan variasi laju aliran air sebesar 0.377 l/s, 0.472 l/s, dan 0.567 l/s dan temperatur air masuk ditetapkan sebesar 80°C dimana temperatur plat juga ditetapkan sebesar 30°C. Data eksperimen kemudian direkam dengan menggunakan sistem akuisisi data. Hasil validasi yang didapatkan menunjukan bahwa terdapat perbedaan distribusi kecepatan laju aliran yang tidak signifikan dalam celah sempit rektangular. Semakin besar laju aliran maka semakin besar eror hasil perhitungan distribusi temperatur pada kode FLUENT 6.3.

Kata kunci : distribusi temperatur, validasi, rektangular, kode FLUENT, analisis kecepatan aliran.

## Pendahuluan

Pemanasan global beserta segala isu yang menyertainya saat ini harus dijadikan acuan untuk pemerintah Indonesia dalam melakukan langkah pembangunan. Selain itu kondisi energi nasional khususnya listrik yang semakin hari semakin komplek sehingga menimbulkan krisis energi yang dewasa ini sedang gencar-gencarnya di perbincangkan oleh para ilmuwan di Indonesia. Salah satu teknologi pembangkit yang ramah lingkungan yaitu pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) yang dapat di jadikan solusi alternatif untuk permasalahan kelistrikan yang ada di Indonesia (*A. Froggat, M. Schneider,* 2010).




**Gambar 1**. Arah aliran pendingin darurat melewati celah di bagian tepi bejana tekan reaktor dalam proses pendinginan awal (Subekti, 2010)

PLTN dalam kondisi darurat, sistem pendingin teras darurat (*Emergency Core Cooling System, ECCS*) bekerja untuk mencegah pelelehan teras dengan cara mengalirkan pendingin air ke dalam teras reaktor melalui katub *cold-leg*, kemudian air pendingin mengalir turun melalui celah di bagian tepi bejana tekan reaktor (*reactor vessel*). Gambar 1 memperlihatkan arah aliran pendingin darurat melewati celah dalam proses pendinginan awal. Setelah pendingin mencapai bagian bawah bejana tekan (downcomer), air pendingin berbalik arah ke atas menuju teras reaktor (*reactor core*). Proses pendinginan awal terjadi pada celah di bagian tepi bejana tekan dimana fenomena proses perpindahan kalor dalam celah ini dapat disimulasikan dengan alat eksperimen HeaTiNG02 dengan skala yang lebih kecil.

Analisis pendinginan awal celah bejana tekan hanya bisa dilakukan menggunakan teknik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) karena distribusi aliran sangat berperan dalam proses perpindahan kalor. Oleh karena itu, penggunaan kode FLUENT 6.3 untuk analisis celah ini memerlukan validasi dengan alat eksperimen HeaTiNG-02. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan validasi kode FLUENT dan menganalisis distribusi kecepatan laju aliran air masukkan (input) pada celah sempit rektangular berdasarkan variasi laju alir. Asumsi eksperimen ditetapkan sedemikian rupa supaya dapat mengkonfirmasi dampak perubahan kecepatan laju aliran masukan terhadap distribusi kecepatan aliran dalam celah sempit. Selain itu, fokus validasi adalah simulasi celah sempit pada temperatur rendah karena verifikasi pada temperatur tinggi bisa mengacu pada hasil penelitian lain (Muhammad Subekti, 2010)

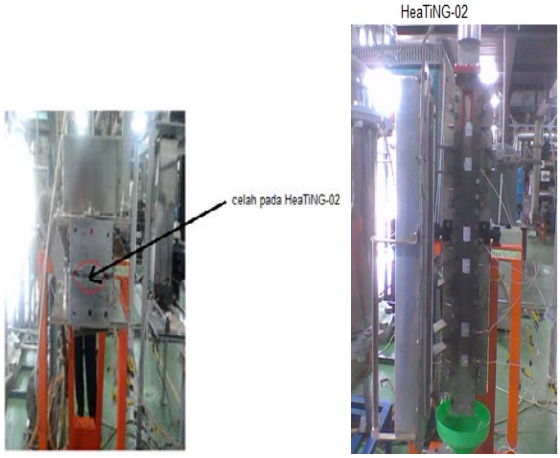
### *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

CFD merupakan suatu metode analisis yang mensimulasikan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena sejenis lainnya yang tidak dapat di lihat dengan menggunakan alat manual, misalnya fenomena laju aliran di dalam suatu plat tertutup yang tidak dapat di saksikan secara lebih spesifik seperti apa fenomena distribusi temperatur yang terjadi dalam setiap dinding plat tersebut. Sehingga, hanya dapat di simulasikan dengan menggunakan simulasi komputer. Secara definisi CFD merupakan ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan matematika (model matematika). Pada saat ini CFD adalah salah satu cara yang sangat efektif dalam mensimulasikan berbagai fenomena fisik yang sulit dilakukan dalam suatu eksperimen. Meskipun tidak akan menggantikan peran eksperimen namun kelebihan khusus dari teknik ini yaitu mempunyai resiko yang kecil, serta alokasi waktu dan biaya dapat di minimalisir (Tuakia, Firman, 2008).

Pemodelan CFD didasarkan pada penyelesaian persamaan Navier-Stokes, yaitu persamaan massa, momentum dan energi pada setiap titik mesh pada grid dua atau tiga dimensi. Dapat atau tidak diterimanya hasil analisis CFD ditentukan oleh 3 faktor, yaitu: Konvergensi yaitu analisis kebenaran internal dimana tingkat kesalahan yang dirancang dipenuhi oleh model yang dikembangkan. Kedua adalah studi grid independence, yaitu untuk mengetahui efisiensi pemakaian grid, dan ketiga adalah validasi yaitu pendekatan hasil CFD dengan data eksperimen yang ada sehingga secara realitas kebenaran dapat diterima (Cao. Z., D.E. Wiley, 2001).

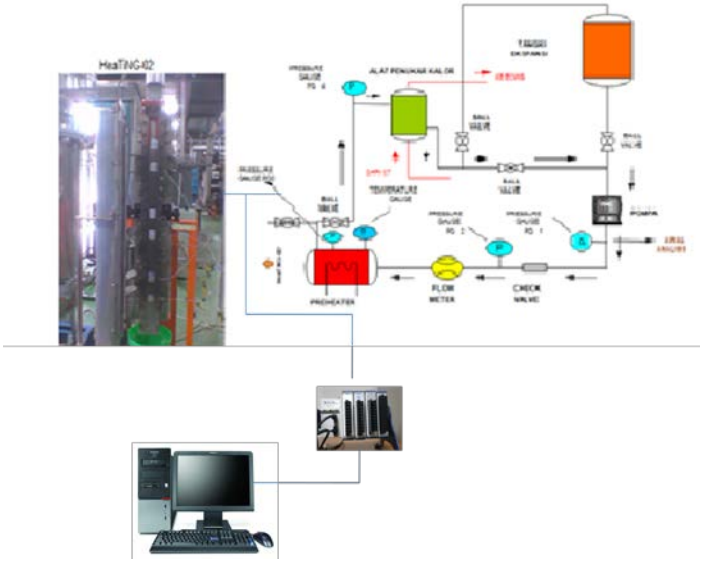
## Metoda Eksperimen

Penelitian di awali dengan melakukan eksperimen terlebih dahulu agar mendapatkan data kuantitatif. Eksperimen dilakukan di lab Thermo Hidrolika Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN) BATAN. Eksperimen dilakukan dengan Menggunakan dua bagian uji yaitu bagian uji HeaTiNG-02 dan Untai Uji BETA. HeaTiNG-02 merupakan bagian uji untuk mensimulasikan kecelakaan parah pada teras reaktor nuklir, yang di dalamnya terdapat plat utama dan plat penutup. Plat utama terbuat dari bahan SS316 dengan titik cair berkisar 1200. Jarak antara plat utama dan plat penutup ditetapkan 2,25 mm. Dimana plat utama itu diasumsikan sebagai plat pada perangkat elemen bakar pada RSG-GAS. Kemudian pada plat HeaTiNG-02 terpasang termokopel tipe K yang dipasang pada permukaan bagian luar batang pemanas yang digunakan untuk mengukur perubahan temperatur permukaan batang pemanas selama eksperimen. Pada gambar 2 memperlihatkan foto bagain uji HeaTiNG-02. Untai Uji BETA adalah alat untuk mengatur laju dan temperatur air yang mengalir kedalam celah pada HeaTiNG-02 setelah plat dan air dipanaskan. Fenomena pada saat eksperimen direkam oleh DAS (Data Acquisition System) buatan *National Instrument* dan monitor pada komputer. Bagian uji HeaTiNG-02 di tunjukan pada Gambar 2.




**Gambar 2**. Bagian Uji HeaTiNG-02.

Untuk skema penelitian di tunjukan pada Gambar 3.



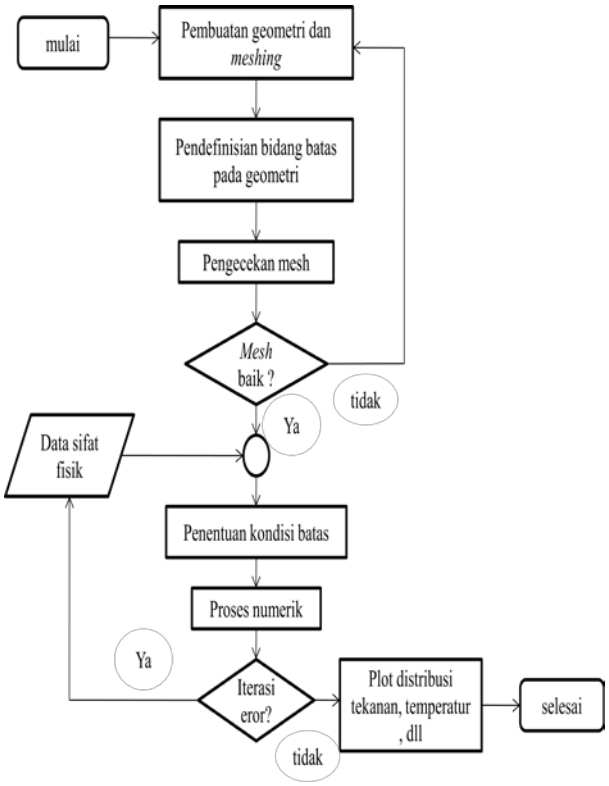

**Gambar 3**. Pengaturan peralatan eksperimental.

Eksperimen dilakukan dengan memanaskan air hingga mencapai temperatur 80°C kemudian dengan temperatur plat utama 30°C. Setelah temperatur air yang kita inginkan tercapai pada loop Untai uji BETA kemudian air dialirkan kedalam celah bagian uji HeaTiNG-02 dengan variasi laju aliran air yaitu sebesar 0,377 l/s, 0,472 l/s, dan 0,567 l/s pada setiap satu kali eksperimen. Dimana matriks eksperimen di tunjukan pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks Eksperimen.

| $T_w$ (°C) | Laju Air Q (L/s) | Temperatur Air $T_a$ ($^oC$) |
|---|---|---|
| $30^o$ | 0,377 | 80 |
| | 0,472 | |
| | 0,567 | |

Setelah eksperimen selesai dilakukan dan data perhitungan hasil eksperimen telah di dapatkan maka langkah selanjutnya adalah membuat desain Geometri pada GAMBIT dimana GAMBIT sendiri adalah satu bagian dari kode FLUENT 6.3. dimana langkah pengerjaannya tertuang dalam diagram *flowchat* berikut (Gambar 4).




**Gambar 4.** Diagram flowchat langkah komputasi FLUENT 6.3.

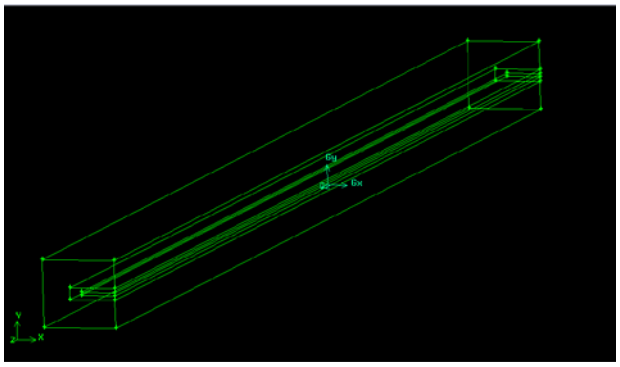
Urutan penggunaan metode komputasi fluida adalah sebagai berikut:

1. Penyelesaian awal dipilih model tiga dimensi (3d,dp).
2. *Grid*

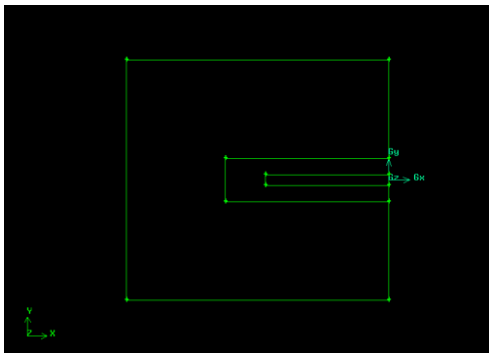
Mengimpor *grid* yang telah dibuat terlebih dahulu pada GAMBIT. Adapun proses yang dilakukan dalam GAMBIT adalah sebagai berikut:

a. Pembuatan geometri

Yaitu pembuatan model berupa celah rektangular dimana pada desain ini di buat menyerupai model pada simulator alat uji HeaTiNG-02. Gambar pembuatan geometri di tunjukan pada gambar 5 dan gambar 6 berikut.



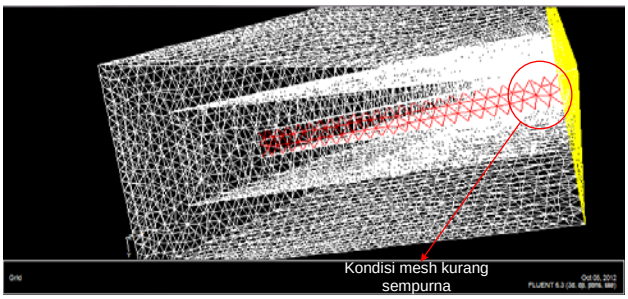
**Gambar 5.** Desain geometri pada gambit tampak tiga dimensi (3D).



**Gambar 6.** Desain geometri pada gambit tampak depan dengan potongan.

Pada tahap permodelan dibuat desain berbentuk rektangular dengan potongan pada sumbu x untuk mengetahui lebih detail distribusi temperatur yang terjadi pada dinding tengah celah rektangular.

b. Membuat mesh elemen hingga: Berdasarkan pengalaman dan coba-coba Bentuk mesh yang mendekati hasil eksperimen adalah dipilih bentuk *meshing volume tet/hybrid*. Dibawah ini di tunjukan skema gambar *meshing* pada permodelan celah rektangular.




**Gambar 7.** Hasil *meshing* terhadap model celah sempit rektangular.

Gambar 7 memperlihatkan hasil *meshing* pada model celah sempit rektangular. Gambar 7 ini juga memperlihatkan posisi mesh yang kurang sempurna. Hal ini terjadi sebagai dampak optimasi mesh dimana semakin sempurna mesh akan membutuhkan ukuran mesh yang lebih kecil. Dan ukuran mesh yang lebih kecil akan memperbanyak jumlah mesh secara signifikan dan hal ini berdampak pada waktu komputasi yang makin lama. Jumlah mesh pada Gambar 9 adalah 84.978 sel dengan waktu komputasi sekitar 1 jam menggunakan komputer pribadi dengan processor Intel i5-2440 dan batasan error sebesar 10e-7.

c. Menentukan model *solver* yaitu dengan memilih *solver Fluent* 5/6 agar dapat dibaca oleh kode FLUENT.
d. Menentukan daerah analisis: Menentukan permukaan yang berhubungan (*link face*

*meshes*) untuk permukaan periodik, menentukan bentuk continum (fluid-Watter $H_2o$), dan menentukan bentuk batas misal: *wall, velocity inlet, inlet flow ,outflow* dan lainnya.

3. Model

Jenis penyelesaian yang digunakan adalah *Pressure Based* dan formula penyelesaiannya *implicit.* Model turbulen yang dipakai adalah k-Epsilon

4. Material

Material yang dipakai berupa *fluid* dan *solid*, untuk *fluid* digunakan air murni dan untuk *solid* digunakan *Steel.*

5. *Operating Conditions*

Merupakan kondisi daerah operasi dimana pada eksperimen ini menggunakan parameter awal tekanan yang biasanya merupakan perkiraan tekanan pada daerah operasi, yakni sebesar 1.78 bar.

6. *Boundary Conditions*

Kondisi batas *inlet* adalah kecepatan sebesar 0,377 l/s, 0,472 l/s, 0,567 l/s. dengan arah kecepatan masuk sesuai besarnya sudut datang aliran yakni z = 1. Kondisi batas *outlet* adalah *outflow*. Kondisi batas dinding ke arah bentangan adalah simetri dan ke arah *pitch* adalah periodik transversal.

7. *Solution*

Adalah tahap penyelesaian masalah berupa proses iterasi hingga mencapai hasil *convergence criterion* yang diinginkan, dalam penelitian ini mengasumsikan itersi sebesar 1.000.

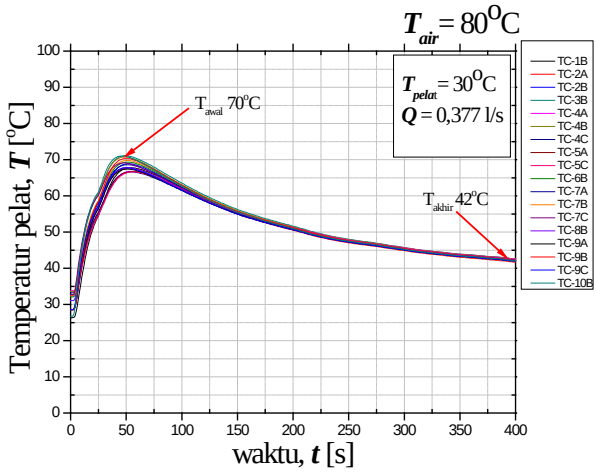
8. *Postprocessing*

Merupakan tampilan hasil serta analisa terhadap hasil yang telah diperoleh. Penggunaan model numerik dapat menghasilkan kontur koefisien *Mass flow inlet, out flow velocity vector, wall temperature, Temperature visualization*, dan lain-lain.

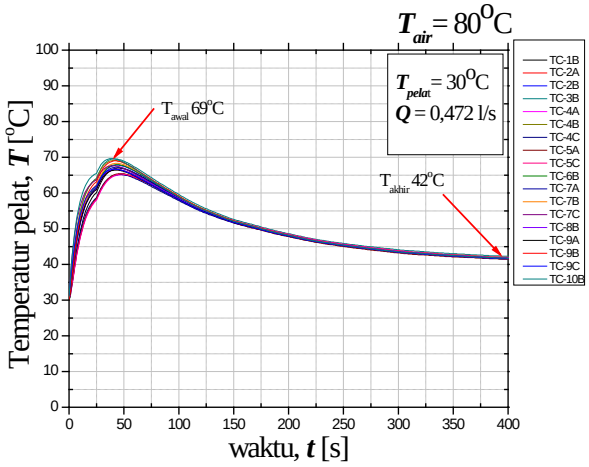
## Hasil dan Pembahasan

### a. Validasi

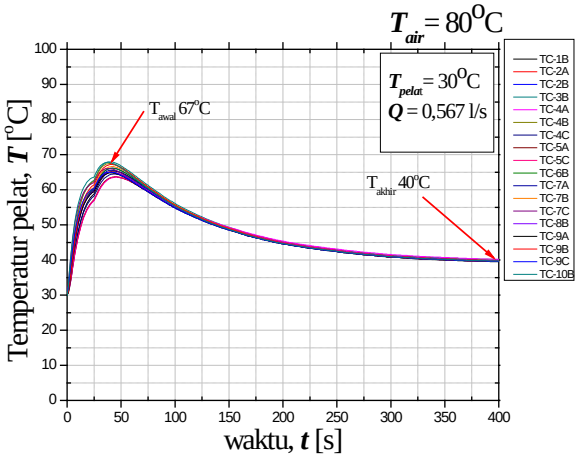
Hasil yang didapatkan dari eksperimen dengan lebar celah 2,25 mm, temperatur air masukan 80°C dan laju alir sebesar 0,377 l/s; 0,472 l/s; dan 0,567 l/s yaitu didapatkan kurva transien yang di tunjukan pada gambar 8, 9, 10. Dimana pada setiap eksperimen dengan menggunakan laju aliran yang berbeda menunjukan penurunan temperatur yang berbeda pula hal ini disebabkan besar kecilnya laju aliran akan sangat mempengaruhi distribusi kalor pada suatu permukaan.




**Gambar 8**. Kurva Transien dengan $T_w$ = 30°C, $T_{air}$ = 80°C dan Q = 0.377 l/s.




**Gambar 9**. Kurva Transien dengan $T_w$ = 30°C, $T_{air}$ = 80°C dan Q = 0.472 l/s.



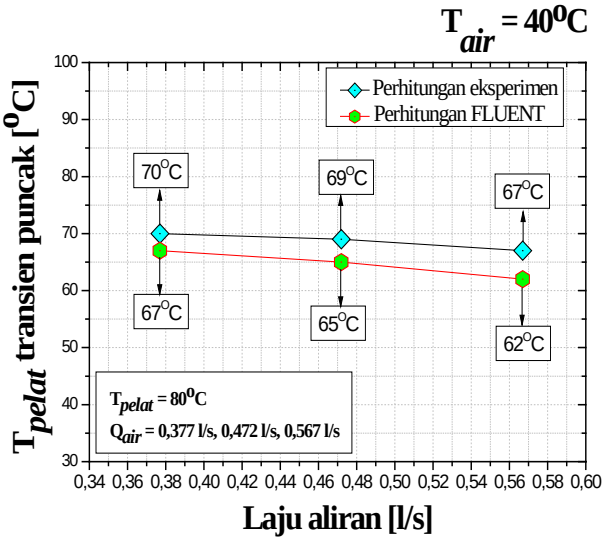

**Gambar 10**. Kurva Transien dengan $T_w$ = 30°C, $T_{air}$ = 80°C dan Q = 0.567 l/s.

Pada eksperimen ke-1 temperatur awal plat saat air dialirkan ke dalam celah rektangular menunjukan penurunan temperatur air sebesar 10°C, dan mengakibatkan kenaikan temperatur plat sebesar 40°C. Proses ini terjadi karena adanya fenomena perpindahan kalor yang dipengaruhi oleh kecepatan

laju aliran air sehingga mengakibatkan adanya proses kesetimbangan kalor pada satu titik tertentu. Kemudian temperatur plat terhadap temperatur air akan terus berangsur turun hingga akhir eksperimen karena temperatur masukan juga mengalami penurunan. Kondisi penurunan ini merupakan keterbatasan alat HeaTiNG02 pada saat eksperimen sedang dilakukan.

Pada eksperimen ke-2 temperatur awal plat saat air di alirkan kedalam celah rektangular menunjukan penurunan temperatur air sebesar 11°C dan mengakibatkan kenaikan temperatur plat sebesar 39°C proses ini terjadi karena adanya fenomena perpindahan kalor hal ini diakibatkan adanya kesetimbangan kalor antara temperatur plat terhadap temperatur air. Kondisi kesetimbangan ini serupa dengan eksperimen ke-1.

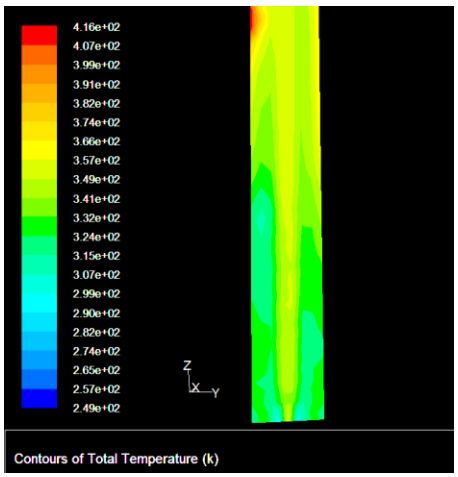
Eksperimen ke-3 serupa dengan eksperimen ke-1 dan eksperimen ke-2. Temperatur awal plat saat air dialirkan kedalam celah rektangular menunjukan penurunan temperatur air sebesar 13°C dan mengakibatkan kenaikan temperatur plat sebesar 33°C.



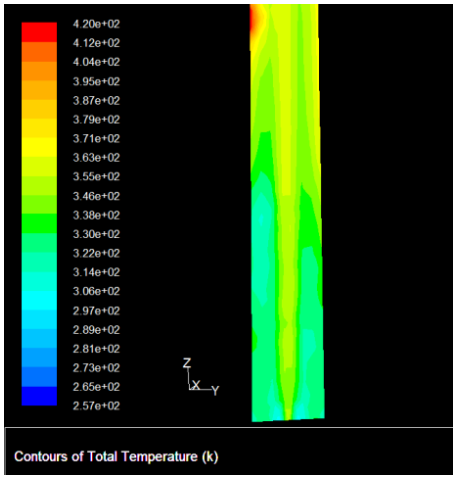

**Gambar 11.** Kurva Transien hasil eksperimen dengan hasil perhitungan FLUENT.

Hasil validasi dengan menggunakan perhitungan komputasi FLUENT didapatkan kurva seperti di Gambar 11. Pada kurva Transien hasil perhitungan eksperimen dengan kurva perhitungan FLUENT terlihat bahwa hasil distribusi temperatur pada plat bagian bawah menunjukan hasil yang berbeda, seperti ditunjukan pada Gambar 11. Selisih perbedaan rata-rata temperatur yaitu sebesar 4°C.

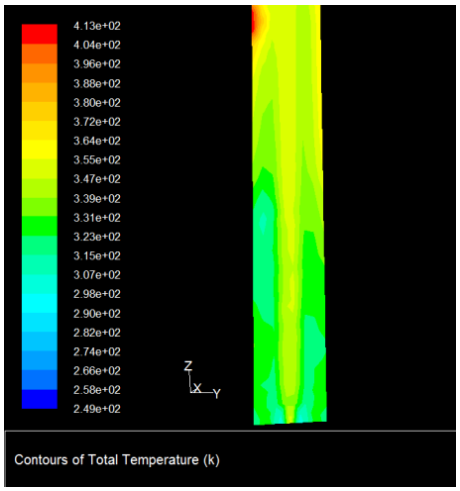
**b. Analisis Distribusi Kecepatan Aliran**



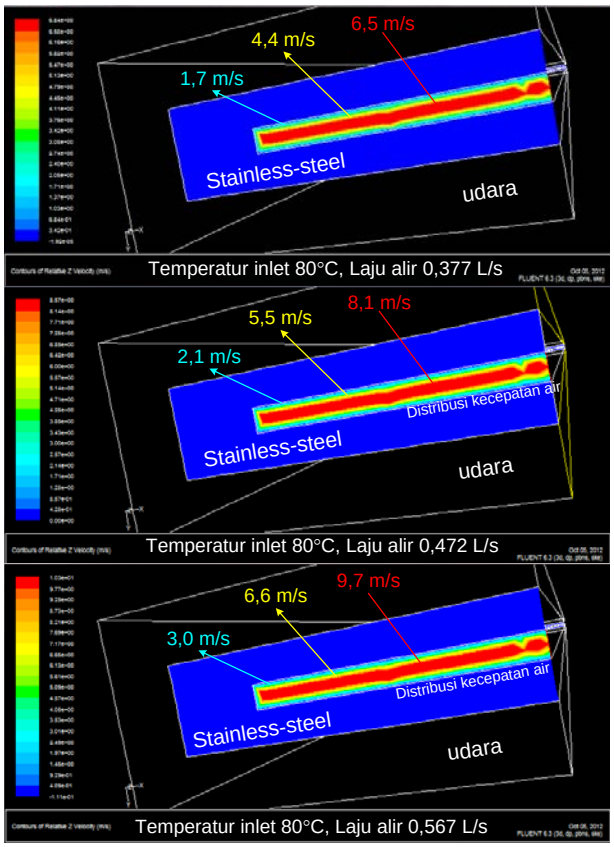

**Gambar 12.** Hasil perhitungan distribusi temperatur menggunakan FLUENT dengan Q = 0.377 l/s.




**Gambar 13.** Hasil perhitungan distribusi temperatur menggunakan FLUENT dengan Q = 0.472 l/s.




**Gambar 14.** Hasil perhitungan distribusi temperatur menggunakan FLUENT dengan Q = 0.567 l/s.




**Gambar 15**. Distribusi kecepatan aliran pendingin terhadap variasi laju alir pada posisi outlet celah sempit rektangular.

Pada hasil perhitungan FLUENT didapatkan bahwa *conturs* simulasi yang di tunjukan pada gambar 12, 13, dan 14 mendekati hasil perhitungan pada eksperimen. Pada kondisi gambar 12, *conturs* menunjukan adanya distribusi temperatur pada bagian bawah plat dimana temperatur pada bagian bawah sebesar 67$^{o}$C. Pada kondisi gambar 13. di atas *conturs* menunjukan adanya distribusi temperatur pada bagian bawah plat dimana temperatur pada bagian bawah sebesar 65$^{o}$C. Pada kondisi gambar 14. di atas *conturs* menunjukan adanya distribusi temperatur pada bagian bawah plat dimana temperatur pada bagian bawah sebesar 62$^{o}$C.

Hasil analisis pada Gambar 15. menunjukkan bahwa pola distribusi kecepatan pendingin tidak memiliki perbedaan yang signifikan terhadap variasi kecepatan aliran. Hal ini terjadi karena model interior volum dari celah sempit rektangular bersifat tidak komplek. Posisi lekukan distribusi aliran pada Gambar 15 terjadi karena kondisi mesh yang kurang sempurna pada posisi tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 7. Hal ini terjadi karena dampak dari optimasi mesh supaya waktu komputasi lebih cepat. Secara umum, pola distribusi kecepatan pendingin global telah diperlihatkan dengan baik.

## Kesimpulan

Hasil validasi menunjukkan bahwa hasil pemodelan dan perhitungan FLUENT cukup valid. Terdapat selisih rata-rata perbedaan temperatur pada hasil perhitungan FLUENT yaitu sebesar 4°C. Hasil analisis menunjukkan bahwa pola distribusi kecepatan pendingin tidak memiliki perbedaan yang signifikan terhadap variasi kecepatan aliran.

## Ucapan Terima kasih

Penulis sampaikan terima kasih kepada ka. PTKRN dan ka. BOFa atas dukungan sarana dan prasarana yang telah disediakan hingga dapat terselenggaranya penelitian ini, kepada kepala dan staf bidang *thermohidrolika*, ucapan terima kasih kepada dosen pembimbing yang senantiasa memberi support bantuan dan dukungan baik moril maupun material, dan ucapan terimakasih kepada rekan-rekan *Edfec* 5 yang senantiasa membantu dalam setiap langkah teknis maupun non teknis.

## Referensi

Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) No.01/Ka.Bapeten/V-99", "Ketentuan Keselamatan Kerja terhadap Radiasi", Jakarta (1999).

Broughton, J.M. et al., "A Scenario on The Three Mile Island Unit 2 Accident", Nuclear Technology 87, v1, (1989).

Cao. Z., D.E. Wiley, dkk "CFD Simulations Of Net-Type Turbulence Promoters In A Narrow Channel", Journal of Membrane Science 185, Australia (2001).

Froggat. A., M. Schneider, ''Systems for Change: Nuclear Power vs Energy Efficiency +Renewables", Henrich Boll Foundation, (2010).

Subekti M. dan Isnaini D., "Kajian Desain Termohidrolika Sub-Kanal PLTN-PWR Untuk Mitigasi SBLOCA Dengan Pemanfaatan Teknik CFD", Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir, BAPETEN, Jakarta(2010)

Subekti M., dkk, "Verifikasi Perhitungan Suhu Luaran Teras Menggunakan Kode FLUENT 6.3 pada PLTN tipe AP1000", Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir III, BATAN - Universitas Sultan Ageng Tirtaysa, ISSN 1979-1208, Jakarta (2010).

Tuakia, Firman, ‘‘Dasar-dasar CFD menggunakan FLUENT’’, Penerbit Informatika Bandung, Bandung (2008).