

Analisis Distribusi Tekanan dalam Celah Sempit Rektangular berdasarkan Variasi Temperatur Air Masukan menggunakan FLUENT 6.3

Ade Amrulloh^{1,2}, Yogi Sirodz Gaos², Muhamad Subekti³, M. Hadi Kusuma³, Edi Marzuki²,
Mulya Juarsa^{2,3}, M. Agus Purwanto²

¹Mahasiswa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jl. KH. Soleh Iskandar KM.2 Bogor 16162
Ade_Amrull@yahoo.com

²*Engineering Development for
Energy Conversion and Conservation (EDfEC) Research Laboratory*
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jl. KH. Soleh Iskandar KM.2 Bogor 16162

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

Abstrak

Distribusi tekanan pada celah sempit rektangular merupakan fenomena penting dan berhubungan dengan pola aliran yang erat kaitannya dengan laju aliran fluida. Faktor yang mempengaruhi distribusi tekanan dapat di akibatkan variasi temperatur air pendingin. Kondisi dimana distribusi tekanan yang dipengaruhi variasi temperatur air pendinginan juga terjadi pada Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) tipe air bertekanan (*Pressurized Water Reactor*, PWR), dimana keadaan tersebut terjadi saat reaktor dalam kondisi darurat. Karena distribusi tekanan pada celah sempit rektangular mempengaruhi pola aliran dan kekuatan material, maka perhitungan dan analisis distribusi tekanan perlu dilakukan untuk mengkonfirmasi pengaruh parameter temperatur masukan terhadap distribusi tekanan dalam celah aliran pendingin. Sebelum analisis dilakukan, kode FLUENT perlu divalidasi untuk mengetahui akurasi perhitungan dengan membandingkan hasil perhitungan FLUENT dengan hasil eksperimen. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan validasi perhitungan kode FLUENT dan melakukan analisis distribusi tekanan dalam celah sempit. Analisis dilakukan untuk mengkaji distribusi tekanan pada celah rektangular saat air masukan dengan variasi temperatur mengalir melewati celah sempit, dimana analisis diambil pada kondisi temperatur rendah. Tahapan eksperimen dilakukan dengan beberapa kondisi dimana dimensi celah HeaTiNG-02 berukuran 2,25 mm, temperatur pelat 30°C, dengan debit air 0,567 l/s dan temperatur air masukan 40°C, 60°C dan 80°C. Pemodelan menggunakan FLUENT 6.3.26 dilakukan dengan tahapan pembuatan geometri pada GAMBIT yang dilanjutkan dengan proses *meshing* dan penetapan *boundary condition*. Tahapan perhitungan FLUENT menggunakan persamaan *K-epsilon* dengan parameter masukan sama dengan masukan data eksperimen. Hasil validasi FLUENT menunjukkan bahwa perbedaan distribusi tekanan terhadap variasi temperatur air pada celah sempit rektangular tidak signifikan. Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi temperatur masukan tidak berpengaruh secara signifikan pada pola distribusi tekanan.

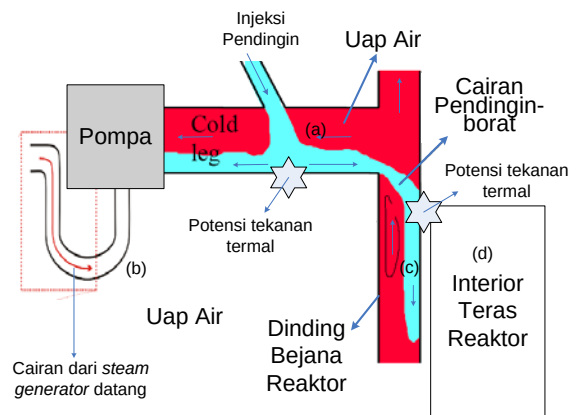
Keywords: distribusi, tekanan, rektangular, temperatur, FLUENT

Pendahuluan

Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dunia, konsumsi energi dunia juga semakin meningkat. Hal ini menyebabkan konsumsi bahan bakar sebagai sumber energi ikut meningkat khususnya bahan bakar fosil atau minyak bumi. Kebutuhan akan energi Indonesia sendiri masih jauh dari kata cukup, sebagai salah satu negara yang sedang berkembang ketersediaan energi merupakan faktor penting dalam mendorong pembangunan. (Santoso, dkk. 2005) menyatakan bahwa sampai saat ini minyak bumi merupakan sumber energi utama dalam memenuhi kebutuhan dalam negeri khususnya di bidang transportasi, industri dan kebutuhan akan listrik. Ketergantungan minyak bumi khususnya di bidang kebutuhan akan listrik masih terbilang tinggi, Indonesia sendiri telah membangun sumber energi terbarukan untuk mengatasi ketergantungan tersebut. Pembangunan berbagai jenis pembangkit-pembangkit listrik non minyak bumi sebagai sumber energinya salah satunya rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), untuk mengatasi krisis sumber daya energi.

Pembangunan PLTN di Indonesia masih mengalami kendala dikarenakan ada pihak yang setuju dan ada pihak yang menolaknya pula. Hal ini disebabkan karena PLTN memiliki beberapa dampak negatif yang selalu menjadi momok menakutkan bagi sebagian masyarakat dimana kekhawatiran akan ancaman kebocoran dan radiasi nuklir. Sebagai contoh kebocoran gas radio aktif yang terjadi dari beberapa kecelakaan nuklir *Three Mile Island* (TMI-2) Pennsylvania Amerika dan Fukushima Jepang, dimana kecelakaan terjadi karena kegagalan proses pendinginan yang mengakibatkan pelelehan parsial inti pada teras reaktor yang menyebabkan cemaran gas radioaktif. Alasan itu mungkin cukup memberi alasan kenapa terjadi penolakan didirikannya PLTN, sebenarnya jika manajemen keselamatan nuklir dilakukan dengan baik hal itu bisa dihindarkan, terlepas dari itu pembangunan PLTN di Indonesia masih menjadi perdebatan, akan tetapi riset dan pengembangan terkait energi nuklir sudah banyak dilakukan dengan didirikannya lembaga-lembaga riset tentang energi nuklir salah satunya lembaga riset BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional). Terlepas dari hal itu penelitian terkait kecelakaan nuklir sudah banyak dilakukan seperti yang dilakukan di departemen PTRKN (Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir) BATAN Serpong yang melakukan penelitian tentang fenomena-fenomena yang terjadi pada reaktor nuklir salah satunya dengan dibuat alat uji HeaTiNG-02 (*Heat Transfer In Narrow Gap*). Alat uji HeaTiNG-02 sendiri merupakan simulator untuk penelitian celah sempit yang berdasar *severe accident*. Penelitian-penelitian sebelumnya yang terkait dengan celah sempit pada reaktor nuklir

sudah dilakukan oleh (IGN. Bagus Catrawedarma, dkk. 2011) yang membahas tentang karakteristik *rewetting* pada celah sempit berbentuk rektangular. Sehingga berdasarkan penelitian mereka diambil pendekatan untuk kasus pada celah sempit rektangular. Sedangkan penelitian terkait dengan distribusi tekanan yang di titik beratkan pada hasil validasi antara proses eksperimen dengan perhitungan komputasi kode FLUENT pada celah HeaTiNG-02 belum pernah dilakukan terlebih dalam kondisi temperatur rendah. Validasi dilakukan dengan membandingkan data hasil eksperimen dengan hasil perhitungan komputasi kode FLUENT, untuk verifikasi kode FLUENT mungkin pernah dilakukan tetapi pada temperatur tinggi oleh (Muhammad Subekti, dkk. 2010).



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

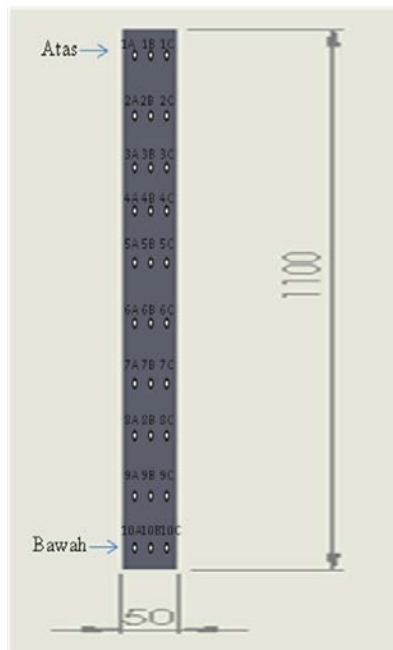
penelitian ini dilakukan pada keadaan temperatur rendah yang berdasarkan pada keadaan pendinginan darurat saat PLTN mengalami gangguan, dimana penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi tekanan di sepanjang celah sempit pada HeaTiNG-02 yang diakibatkan adanya variasi temperatur air yang mengalir didalam celah sempit rektangular.

Metode Penelitian

Metode eksperimen

Proses eksperimental dilakukan dengan menggunakan fasilitas yang ada di Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN) Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Fasilitas tersebut diantaranya menggunakan alat uji HeaTiNG-02 (*Heat Transfer in Narrow Gap*) yang mana merupakan alat eksperimen yang mempelajari tentang perpindahan kalor pada celah sempit (*Narrow Gap*) yang berbentuk persegi (*Rectangular*), pada HeaTiNG-02 terdapat beberapa komponen utama diantaranya plat utama dan plat penutup serta pemanas (*heater*), serta

bagian uji UUB (Untai Uji BETA) untuk mensirkulasikan air pendingin yang nantinya melewati celah HeaTiNG-02 dimana bagian-bagian Untai Uji BETA terdiri dari pompa sekunder, pompa primer, pre-heater, dan alat penukar kalor. Untuk perekaman datanya digunakan termokopel tipe K yang terhubung ke sebuah perangkat data akusisi dari NI (*National Instrumen*) yang kemudian dihubungkan dengan perangkat komputer sebagai visualisasi. Susunan termokopel pada pelat utama diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Susunan termokopel pada pelat utama HeaTiNG-02.

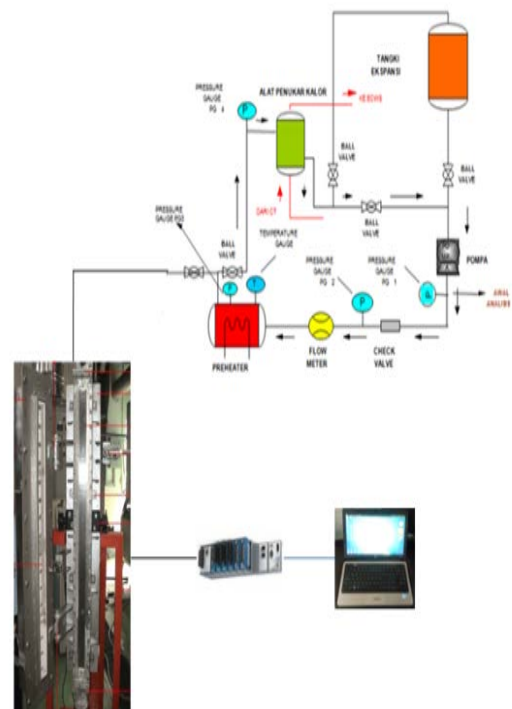
Metode eksperimen dilakukan dengan beberapa tahapan, dimana analisis awal didahului dengan proses eksperimental untuk memperoleh data distribusi temperatur pada celah HeaTiNG-02. Parameter-parameter eksperimen meliputi, lebar celah, temperatur pelat, temperatur air pendingin dan debit air pendingin seperti yang ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Matriks eksperimen

Lebar celah [mm]	T _{pelat} [°C]	T _{air} [°C]	Debit air [l/s]
2,25	30	40	0,567
		60	
		80	

Tahapan eksperimen meliputi, mempersiapkan alat eksperimen dengan pengumpulan data teknis alat uji HeaTiNG-02, memulai eksperimen dengan menjalankan pompa dan mengatur debit yang telah ditentukan dan memanaskan suhu air pendingin yang di atur dengan instrumensasi pada bagian uji UUB

(Untai Uji Beta) sesuai dengan matriks eksperimen yang telah ditentukan, dimana UUB merupakan bagian uji untuk mensirkulasikan air pendingin, berikutnya memanaskan pelat utama pada HeaTiNG-02 dengan menjalankan *heater* yang terhubung pada regulator sampai didapatkan temperatur pelat yang ditentukan. Setelah temperatur air dan temperatur pelat tercapai kemudian air dialirkan melewati celah HeaTiNG-02 yang mana data eksperimental langsung terekam oleh perangkat NI (*National Instrument*) yang di visualisasikan melalui komputer, untuk Data yang di dapat pada hasil eksperimen kemudian diolah dengan menggunakan *software OriginPro 8* untuk diolah kedalam bentuk kurva transien, dan pengukuran tekanan yang digunakan sebagai tekanan inisial yang nantinya menjadi masukan parameter dalam perhitungan FLUENT yang mana digunakan perangkat PT (*Pressure Transducer*) yang terpasang di bagian atas alat uji HeaTiNG-02 untuk perekaman datanya. Fasilitas eksperimen yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 3.

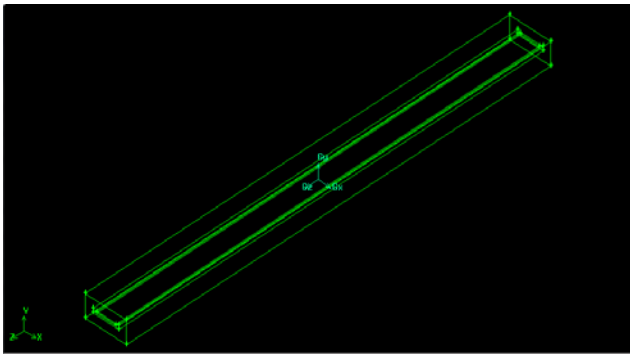


Gambar 3. Pengaturan peralatan eksperimental.

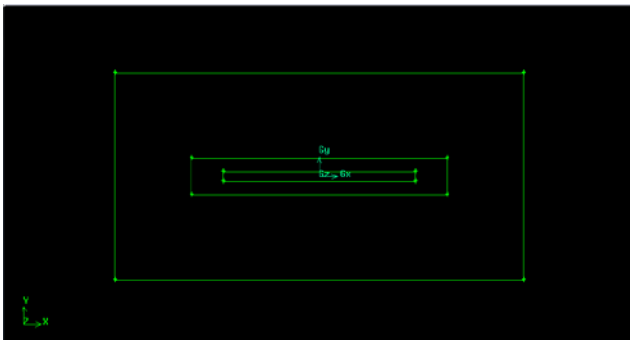
Metode analisis FLUENT

Metode analisis yang dilakukan meliputi perencanaan analisis CFD dimana dalam perencanaan analisis menggunakan FLUENT 6.3 yang didahului dengan pemilihan model komputasional dengan permodelan 3D dan melakukan *meshing* pada GAMBIT 2.3.16 dimana GAMBIT merupakan *preprocessor* yang di disain untuk membantu pembuatan model dan

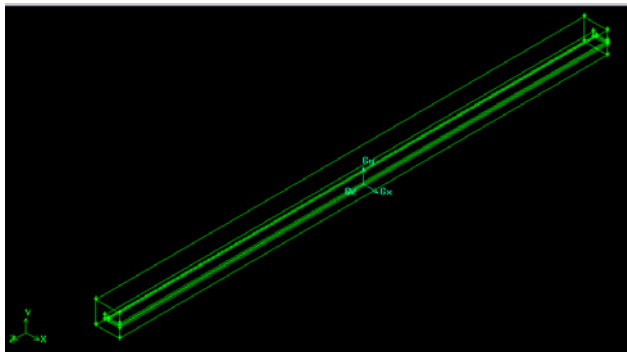
diskritisasi (*meshing*) pada model untuk analisis CFD (Firman Tuakia, *Dasar-dasar CFD menggunakan FLUENT*, 2008). Pembuatan geometri volume celah HeaTiNG-02 pada GAMBIT terdiri dari beberapa bagian dimana yang pertama untuk dimensi Air dengan panjang 1100 mm, lebar 50 mm dan tebal 2,25 mm, untuk dimensi Baja panjang 1100 mm, lebar 66,4 mm dan tebal 8,65 mm, dan dimensi Udara panjang 1100 mm, lebar 106,4 mm, dan tebal 48,65 mm seperti yang terlihat pada Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.



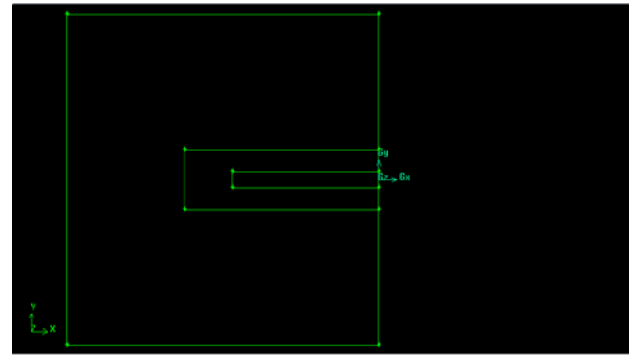
Gambar 4. Geometri celah secara keseluruhan tampak isometri.



Gambar 5. Geometri celah secara keseluruhan tampak sumbu Z.



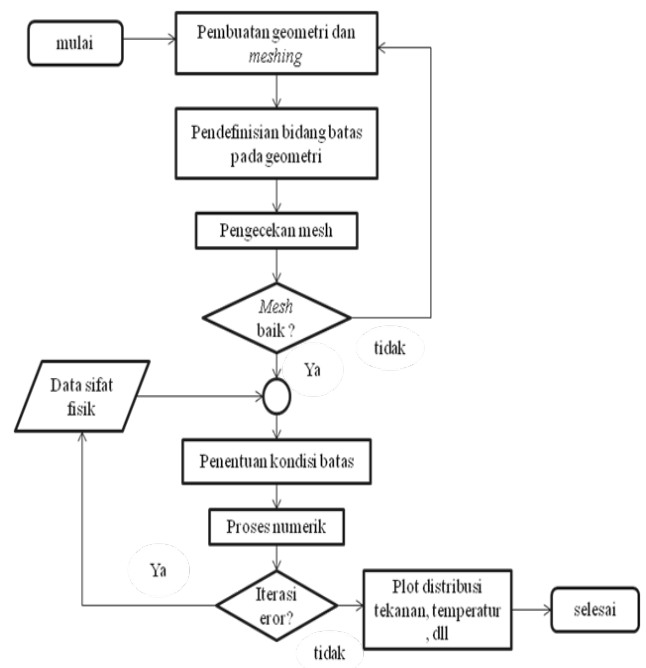
Gambar 6. Geometri celah hasil pemotongan dalam permodelan GAMBIT tampak isometri.



Gambar 7. Geometri celah hasil pemotongan dalam permodelan GAMBIT tampak sumbu Z.

Dimana Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan bidang paling dalam merupakan bidang air, bidang kedua merupakan bidang baja, dan bidang ketiga merupakan bidang udara. Untuk mempercepat dan memperkecil komputasi pada proses iterasi dan *meshing* maka dilakukan pemotongan bidang kedalam bentuk setengah bidang awal yang di tunjukan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Proses validasi dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan eksperimen dengan hasil perhitungan simulasi FLUENT dimana untuk hasil validasi akan dilihat dari pendekatan nilai hasil perhitungan antara keduanya. Urutan langkah penyelesaian FLUENT diperlihatkan pada Gambar 8.

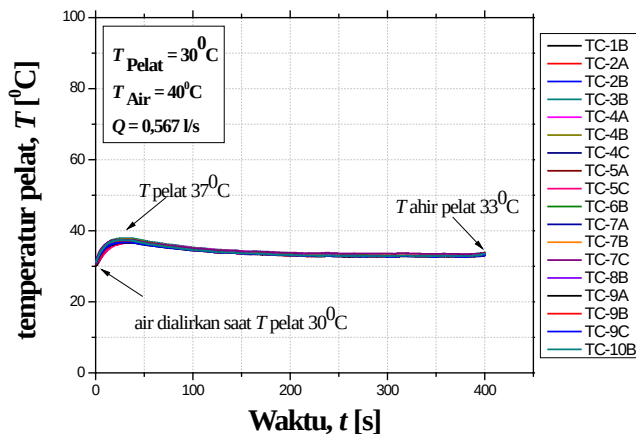


Gambar 8. Diagram alir Prosedur Simulasi FLUENT.

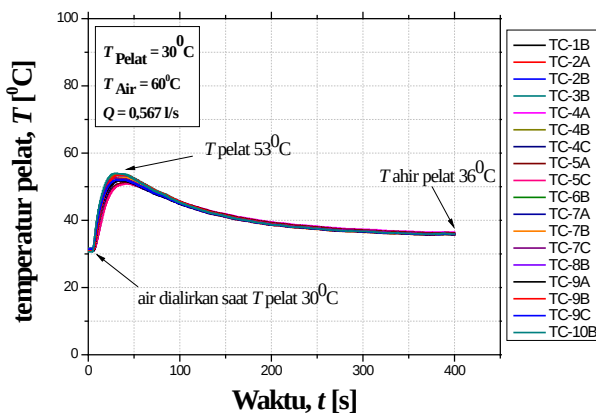
Hasil dan Pembahasan

a. Validasi

Hasil eksperimen pada kasus dengan lebar celah 2,25 mm, temperatur pelat 30°C , variasi temperatur air pendingin yang melewati celah adalah 40°C , 60°C , dan 80°C , debit aliran air 0,567 l/s dengan perekaman data selama 400 detik diperoleh kurva transien temperatur yang di tunjukan pada Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11.



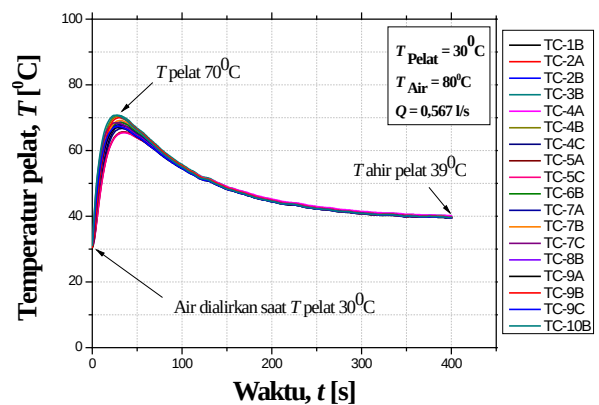
Gambar 9. Kurva transien saat $T_{\text{pelat}} 30^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{air}} 40^{\circ}\text{C}$ dan debit air 0,567 l/s.



Gambar 10. Kurva transien saat $T_{\text{pelat}} 30^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{air}} 60^{\circ}\text{C}$ dan debit air 0,567 l/s.

Hasil analisis Gambar 9 menunjukkan kurva transien saat temperatur pelat 30°C yang dialiri air bertemperatur 40°C dengan debit air 0,567 l/s. Dimana pada kurva menunjukkan terjadinya proses perpindahan kalor yang mana temperatur air yang melewati celah mengalami penurunan dan di saat bersamaan terjadi kenaikan pada temperatur pelat menjadi 37°C dikarenakan temperatur pelat lebih rendah dari temperatur air yang mengakibatkan kenaikan temperatur pelat yang secara berangsur turun sampai mencapai temperatur 33°C .

Hasil analisis Gambar 10 menunjukkan kurva transien saat temperatur pelat 30°C , temperatur air 60°C dengan debit air 0,567 l/s. Dimana pada kurva menunjukkan terjadi proses perpindahan kalor yang mana temperatur air yang melewati celah mengalami penurunan dan di saat bersamaan terjadi kenaikan temperatur pelat menjadi 53°C dikarenakan temperatur pelat lebih rendah dari temperatur air yang mengakibatkan kenaikan temperatur pelat yang kemudian berangsur turun sampai mencapai temperatur 35°C .



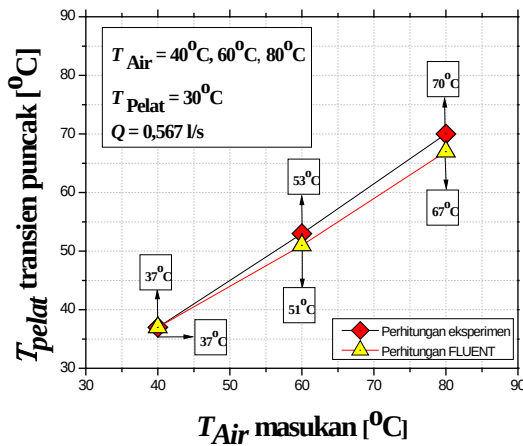
Gambar 11. Kurva transien saat $T_{\text{pelat}} 30^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{air}} 80^{\circ}\text{C}$ dan debit air 0,567 l/s.

Hasil analisis Gambar 11 menunjukkan kurva transien saat temperatur pelat 30°C , temperatur air 80°C dengan debit air 0,567 l/s. Dimana pada kurva menunjukkan terjadi proses perpindahan kalor yang mana temperatur air mengalami penurunan dan terjadi kenaikan terhadap temperatur pelat menjadi 70°C dikarenakan temperatur pelat lebih rendah dari temperatur air yang mengakibatkan kenaikan temperatur pelat yang kemudian berangsur turun sampai mencapai temperatur 39°C . Selain data temperatur dalam proses eksperimen juga didapatkan data rata-rata tekanan yang di peroleh dari hasil perekaman PT (*Pressure Transducer*) selama 400 detik dengan perekaman 1 data permenit untuk masing-masing temperatur masukan yang di tunjukan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata tekanan pada PT

Temperatur air masukan [$^{\circ}\text{C}$]	Rata-rata tekanan pada PT (<i>Pressure transducer</i>) [Bar]
40	1,780
60	1,786
80	1,788

Dimana dari data tekanan yang diperoleh dari perekaman PT digunakan tekanan rata-rata sebesar 1,78 Bar untuk masukan pada parameter perhitungan FLUENT.



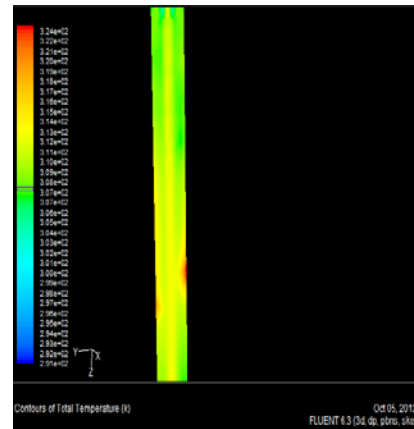
Gambar 12. Hasil Validasi FLUENT dengan alat eksperimen HeatiNG-02.

Hasil analisis pada Gambar 12 menunjukkan bahwa hasil Validasi perhitungan temperatur antara perhitungan FLUENT dengan perhitungan eksperimen mendapatkan hasil yang mendekati dimana saat temperatur air masukan 40°C didapatkan hasil perhitungan yang sama, dan ketika temperatur air naik ke 60°C hasil perhitungan memiliki selisih 2°C, dan saat temperatur air masukan 80°C selisih temperatur semakin bertambah menjadi 3°C.

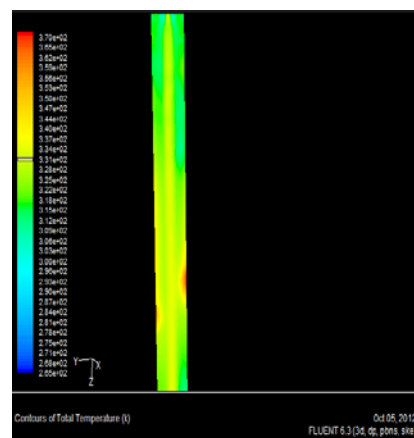
b. Analisis FLUENT

Hasil perhitungan FLUENT dengan pemilihan model *solver Pressure based* dengan kondisi *steadystate* yang dilanjutkan dengan kondisi transien setelah didapatkan hasil yang konverged, dan model *viscous k-epsilon* dengan parameter masukan berupa tekanan inisial 1,78 Bar yang di dapatkan dari hasil rata-rata perhitungan eksperimen pada PT (*Pressure Transducer*) dengan temperatur pelat 30°C dan temperatur air masukan 40°C, 60°C, dan 80°C didapatkan kontur distribusi temperatur total berdasarkan pandangan bagian potongan/ mirror pada FLUENT seperti di tunjukan pada Gambar 13, Gambar 14, Gambar 15.

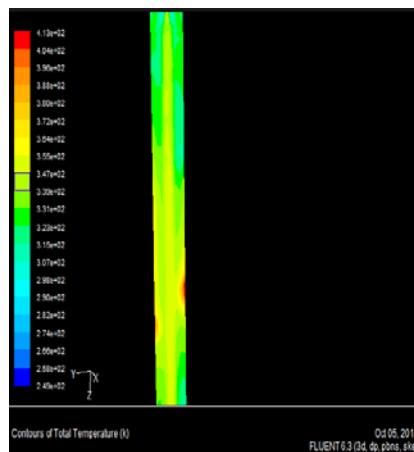
Hasil analisis pada Gambar 13, Gambar 14, dan Gambar 15 memeplihatkan hasil distribusi tekanan berdasarkan bidang potongan mirror dimana pada temperatur air masukan 40°C hasil perhitungan FLUENT 6.3 menunjukkan temperatur 37°C, dan pada temperatur air masukan 60°C hasil perhitungan menunjukkan 51°C sedangkan pada temperatur air masukan 80°C hasil perhitungan menunjukkan 67°C.



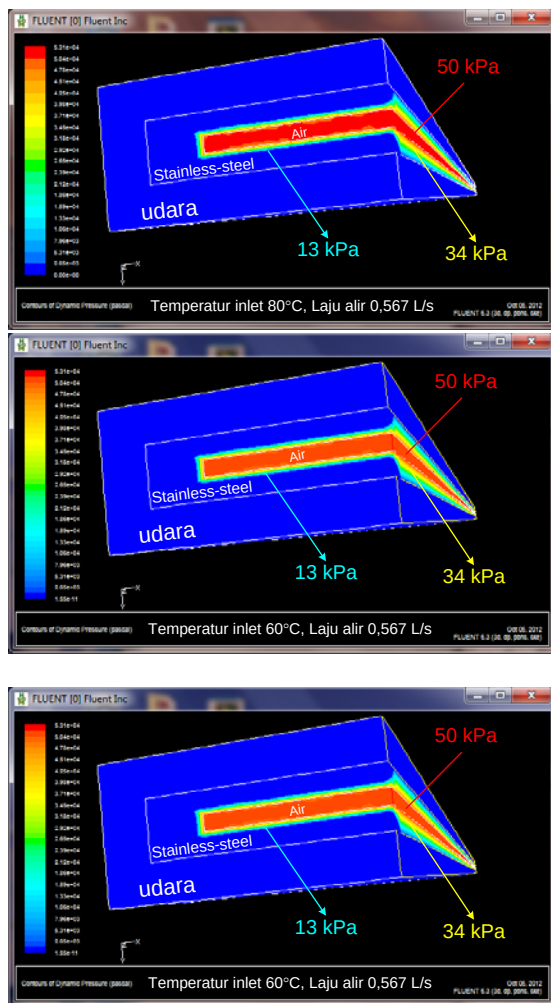
Gambar 13. Distribusi temperatur pada FLUENT saat T_{Air} 40°C.



Gambar 14. Distribusi temperatur pada FLUENT saat T_{Air} 60°C.



Gambar 15. Distribusi temperatur pada FLUENT saat T_{Air} 80°C.



Gambar 16. Hasil perhitungan distribusi tekanan menggunakan FLUENT 6.3 pada posisi output terhadap variasi temperatur input.

Gambar 16 memperlihatkan hasil perhitungan distribusi tekanan menggunakan FLUENT 6.3 pada posisi output terhadap variasi temperatur input. Gambar ini juga memperlihatkan bahwa variasi temperatur input tidak memberikan perbedaan hasil distribusi tekanan yang signifikan. Hal ini terjadi karena kontribusi variasi temperatur input celah sempit rektangular berpengaruh sangat kecil terhadap hasil perhitungan distribusi tekanan.

Kesimpulan

Untuk hasil validasi perhitungan menunjukkan bahwa hasil permodelan dan perhitungan FLUENT cukup valid. Meskipun demikian, semakin tinggi temperatur air masukan, maka error perhitungan pada FLUENT akan semakin besar. Hasil analisis yang terlihat pada kurva transien dengan temperatur air masukan 40°C, 60°C, dan 80°C menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur air masukan maka temperatur pelat akan semakin tinggi dimana hal ini terjadi karena adanya fenomena perpindahan kalor yaitu secara konveksi paksa yang mengakibatkan pelat mengikuti

kesetimbangan temperatur air. Untuk hasil perhitungan distribusi tekanan berdasarkan posisi output menunjukkan bahwa variasi temperatur air masukan tidak memberikan perubahan distribusi tekanan yang cukup signifikan.

Ucapan Terima-kasih

Penulis mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat serta karuniaNya dengan terselesaikannya karya ilmiah ini, terima kasih penulis ucapkan kepada pembimbing dan tem EdfEC 5 yang selalu memberikan bimbingan serta dukungannya serta kepada Ka. subbidang Termohidrolika, Ka. BOFa dan Ka. PTRKN BATAN yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian terkait makalah ini

Referensi

Firman Tuakia, “Dasar-dasar CFD menggunakan FLUENT”, Informatika, Bandung, (2008).

IGN. Bagus Cetrwedarma, dkk., “Analisis Pengaruh Temperatur Awal Plat Terhadap Karakteristik Rewetting dalam Celah Sempit Vertikal untuk kasus Bilateral Heating”, Prosiding seminar Penelitian dan Pengelolaan perangkat Nuklir, Yogyakarta, (2011).

Santosa, Joko., Dan Yudiartono, “analisis prakiraan kebutuhan energi nasional jangka panjang di indonesia”, Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, Dan Energi Terbarukan, Publikasi Ilmiah ISBN 979-95999-5-4, Jakarta, (2005).

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 Agung Tirtayasa, ISSN 1979-1208, Jakarta, (2010).