

ANALISIS PROSES TERMOHIDROLIK FLUIDA NANO ZrO₂ UNTUK PENDINGIN PEMANAS PELAT DENGAN PROGRAM CFD

V. Indriati Sri Wardhani¹ dan Henky Poedjo Rahardjo²

Pusat Teknologi Nuklir Bahan Dan Radiometri-Batan
Jl. Tamansari 71 Bandung 40132

ABSTRAK

ANALISIS PROSES TERMOHIDROLIK FLUIDA NANO ZrO₂ UNTUK PENDINGIN PEMANAS PELAT DENGAN PROGRAM CFD. Pada umumnya fluida kerja yang digunakan untuk pendingin suatu sistem adalah air, karena air mempunyai sifat hantaran panas yang besar dan titik beku yang rendah. Namun akhir-akhir ini ada kecenderungan untuk meningkatkan kemampuan pendinginan dengan menggunakan fluida kerja campuran air dengan partikel nano. Hal ini dapat menaikkan kerapatan fluida kerja sehingga daya hantarnya bisa lebih baik dan pendinginannya meningkat. Telah dibuat fluida nano dari campuran air dan partikel ZrO₂ serta telah diperoleh beberapa sifat-sifat fisiknya. Akan tetapi belum diketahui kemampuannya untuk digunakan sebagai fluida pendingin, oleh karena itu perlu diteliti karakteristik termohidrolik fluida nano tersebut untuk mengetahui unjuk kerja pendinginannya. Dalam penelitian ini dilakukan analisis dengan menggunakan program Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk mendapatkan prediksi awal karakteristik termohidrolik fluida nano ZrO₂ berupa temperatur dan kecepatan sebelum eksperimen dilakukan. Analisis dilakukan dengan membuat model sistem berupa pemanas berbentuk pelat yang dialiri fluida nano secara vertikal. Hasil analisis menunjukkan bahwa proses perpindahan panas yang terjadi adalah proses konveksi alamiah dan fluida nano ZrO₂ mempunyai sifat konduktansi yang lebih besar sekitar 3% sampai 5% jika dibandingkan dengan fluida air jika digunakan sebagai pendingin. Hasil ini dapat digunakan sebagai masukan untuk memprediksi sifat-sifat termohidrolik pada saat eksperimen dilakukan, sehingga eksperimen bisa lebih akurat.

Kata kunci : fluida nano, pendingin, perpindahan panas, program CFD, ZrO₂.

ABSTRACT

THERMOHYDROLIC PROCESS ANALYSIS OF ZrO₂ NANO FLUID FOR HEATING PLATES COOLING WITH CFD PROGRAM. Water is generally used in a cooling system, because water has a large heat transfer properties and a low freezing point. But lately there is a tendency to increase cooling capacity by using a mixture of water with nanoparticles. It can raise the fluid density and heat transfer will be better so cooling also increase. Nano fluid made from a mixture of water and nano-ZrO₂ particles and has acquired several physical properties. But not known to its ability to be used as a cooling fluid. Therefore, it is necessary to study the thermohydrolic characteristics of the nano fluid to determine the cooling performance. On this research, analysis is done by using CFD software to obtain the initial condition of thermohydraulic characteristic for nano fluid ZrO₂ such as temperature and velocity, before its experiment to be done. Analysis was done by creating a system model of the plate-shaped heating fluid flowing vertically nano fluid. The analysis results showed that the heat transfer process is natural convection and conductance properties of ZrO₂ nano fluid 3% - 5% greater than the water fluid if used as coolant. These results can be used as input to predict the thermohydrolic properties during experiments performed, so that experiments can be more accurate.

Keywords: nano fluids, cooling, heat transfer, CFD program, ZrO₂.

1. PENDAHULUAN

Pendinginan suatu sistem dapat diperbaiki salah satunya dengan mengganti fluida pendingin dari fluida konvensional menjadi fluida air yang dicampur dengan partikel nano (fluida nano). Sudah banyak fluida nano digunakan untuk memperbaiki efektivitas pendinginan suatu sistem seperti radiator, penukar kalor bahkan sistem pembangkit daya^(1,2). Telah dibuat fluida nano ZrO₂ dari bahan lokal oleh peneliti di Batan Bandung, sifat-sifat fisika dari fluida nano ZrO₂ yang dibuat telah diperoleh, akan tetapi karakterisasi termohidroliknya belum dilakukan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk melihat karakteristik tersebut melalui eksperimen agar dapat dibuktikan kemampuan pendinginan fluida nano tersebut. Sebelum melakukan eksperimen perlu dilakukan analisis dengan bantuan perangkat lunak *computational fluid dynamics* (CFD). Dengan program CFD tersebut dibuat pemodelan sistem pemanas berbentuk pelat yang dialiri fluida nano untuk mensimulasikan proses termohidrolik yang terjadi antara sumber panas dengan fluida pendingin. Masalah-masalah aliran fluida yang mampu diselesaikan menggunakan perangkat lunak *computational fluid dynamics* ini adalah aliran inkompresibel/kompresibel, tunak/tak tunak, aliran laminar/turbulen, aliran fluida newtonian/non newtonian, perpindahan panas konveksi baik konveksi alamiah maupun konveksi paksa, gabungan konduksi/konveksi dan radiasi.

Dengan melihat keaneka ragam aliran fluida yang mampu diselesaikan maka sangat beralasan bahwa perangkat lunak ini dapat diaplikasikan pada analisis untuk proses pendinginan yang terjadi pada banyak peralatan, antara lain mesin penukar kalor, kondensor, evaporator, sistem pemipaan, sistem ventilasi dan sebagainya⁽³⁾. Hasil keluaran yang penting dari perangkat lunak ini berupa kurva distribusi temperatur dan distribusi kecepatan fluida pendingin yang korelasinya dipergunakan untuk memprediksi karakteristik perpindahan panasnya. Dari hasil simulasi pemodelan menggunakan perangkat lunak ini diharapkan mampu untuk melihat pengaruh sumber panas yang berbentuk pelat datar terhadap efektivitas pendinginan fluida nano dari campuran air dan partikel nano ZrO₂.

2. TEORI

Apabila pada sebuah benda terdapat perbedaan temperatur maka secara alamiah akan terjadi perpindahan energi dalam bentuk panas dari daerah yang temperatur lebih tinggi ke daerah yang temperturnya lebih rendah yang biasa disebut proses perpindahan panas. Demikian pula proses perpindahan panas dari suatu sumber pemanas yang berupa pelat yang didinginkan oleh suatu fluida kerja seperti air atau fluida lain seperti fluida nano⁽⁴⁾, maka bisa terjadi proses perpindahan panas secara konduksi maupun konveksi. Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas yang terjadi dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur lebih rendah di dalam suatu medium padat, cair atau gas atau antar medium berlainan yang bersinggungan secara langsung. sehingga terjadi perambatan panas. Jika perambatan panas tersebut disertai dengan gerakan massa atau gerakan partikel zat perantaranya maka perpindahan panas tersebut dikenal dengan perpindahan panas konveksi. Perpindahan panas konveksi ini banyak digunakan dalam analisis perpindahan panas antara permukaan padat dengan fluida yang berada disekelilingnya, mekanisme perpindahan panas konveksi tersebut dapat terjadi secara alamiah maupun secara paksa⁽⁵⁾. Jika permukaan pemanas mengalirkan panas maka fluida di dekat permukaan akan terpanaskan sehingga kerapatannya akan berkurang. Akibatnya gaya badan pada suatu satuan volume di bagian fluida yang terpanaskan menjadi lebih kecil dari pada dalam fluida yang tidak terpanaskan, ketidakseimbangan ini menyebabkan fluida yang terpanaskan bergerak naik ke atas, mekanisme perpindahan panas ini dikatakan sebagai perpindahan panas konveksi alamiah. Sedang perpindahan panas yang gerakan fluidanya diperoleh dari alat-alat seperti pompa, kompresor, kipas dan lainnya maka merupakan perpindahan panas konveksi paksa.

Karakteristik yang mencerminkan keadaan aliran fluida sebenarnya di alam adalah kompresibel (massa jenis tidak konstan), rotasional (partikel fluida berputar), tak tunak (tidak tetap) dan viskos (terdapat pergeseran dengan permukaan). Persamaan atur dinamika fluida yang mampu menggambarkan semua kondisi di atas dikenal dengan nama persamaan Navier-Stokes⁽⁶⁾ yang terdiri dari persamaan kekekalan massa, kekekalan momentum serta kekekalan energi untuk aliran fluida yang melibatkan perpindahan panas. Persamaan

Navier-Stokes tersebut dapat dipecahkan dengan perangkat lunak seperti *computational fluid dynamics*(CFD).

Adapun persamaan kekekalan massa atau lebih dikenal dengan persamaan kontinuitas dituliskan sebagai berikut ^(7,8) :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial x_i}(\rho \mu_i) = S_m \quad (1)$$

ρ : massa jenis
 t : waktu
 x : arah aksial
 μ : kecepatan
 S_m : massa yang ditambahkan

Sedang persamaan kekekalan momentum arah i dalam kerangka acuan inerti ditulis sebagai ^(7,8):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \mu_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \mu_i \mu_j) = \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \quad (2)$$

P : tekanan statis
 σ_{ij} : tensor tegangan
 ρg : gaya gravitasi
 F_i : gaya-gaya luar dalam arah i

Pada aliran fluida yang melibatkan proses perpindahan panas seperti kasus yang akan dianalisis dalam makalah ini, harus ditambahkan pula persamaan kekekalan energi yang dapat dituliskan dalam bentuk enthalpi sebagai berikut ^(7,8) :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \mu_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i}(k + k_t) \frac{\partial T}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \sum_j h_j \frac{Dp}{Dt} + \left(r_j \right)_{eff} \frac{\partial \mu}{\partial x_i} + S_h \quad (3)$$

k : konduktivitas molekuler
 k_t : konduktivitas turbulen
 J_j^i : fluks diffusi dari spesies j^i
 S_h : sumber-sumber panas yang didefinisikan

Enthalpi h didefinisikan sebagai :

$$h = \sum_j m_j h_j \quad (4)$$

m_j^i adalah fraksi massa dari proses j^i

dan
$$h_j^i = \int_{T_{ref}}^T c_{p_j^i} dT \quad (5)$$

$$T_{ref} = 298,15 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Perangkat lunak CFD menyelesaikan persamaan kekekalan energi (3) dengan menggunakan temperatur sebagai variabel bebas, ruas kiri dari persamaan (3) ditransformasikan dalam bentuk temperatur dengan menggunakan persamaan (4) dan (5). Di samping solusi terhadap ke tiga persamaan kekekalan di atas, perangkat lunak ini juga menyediakan fasilitas pemodelan turbulensi, pemilihan bentuk turbulen yang digunakan tergantung dari pemahaman terhadap kondisi aliran yang dianalisis.

3. METODE

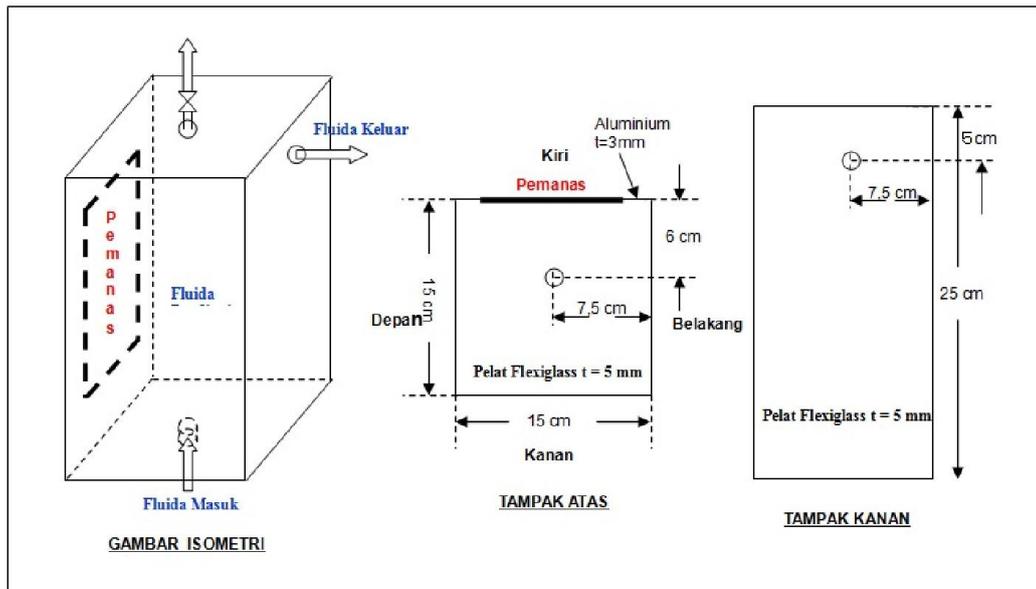
Perangkat lunak *computational fluid dynamics* (CFD) adalah suatu program yang dapat memodelkan suatu sistem aliran fluida dan proses perpindahan panas. Dengan perangkat lunak ini sebuah sistem yang akan dianalisis dapat disimulasikan seperti keadaan yang sebenarnya. Dalam analisis ini dilakukan pemodelan sistem yang terdiri dari sebuah pemanas berbentuk pelat bahan aluminium dengan panjang 12 cm, lebar 12 cm dan tebal 3 mm yang dialiri fluida pendingin berupa air (H₂O) dan fluida nano, (1 liter H₂O dicampur dengan 1gram partikel ZrO₂)⁽⁹⁾. Dengan adanya pemanas dan fluida pendingin tersebut akan terjadi proses perpindahan panas karena adanya perubahan temperatur dari pemanas ke fluida pendingin. Hasil analisis ini berupa distribusi temperatur dan distribusi kecepatan yang akan dipergunakan untuk memprediksi unjuk kerja perpindahan panas baik untuk air maupun fluida nano. Akhirnya akan dapat diprediksi perbandingan efektivitas fluida nano dengan air jika digunakan sebagai bahan pendingin. Bentuk dan dimensi sistem yang dimodelkan seperti terlihat pada Gambar 1. Dari model tersebut kemudian dilakukan pembagian model (*meshing*) untuk mengidentifikasi daerah yang ingin diteliti sebelum analisis dilakukan. Model sistem pemanas dan fluida pendingin beserta *meshing*nya seperti terlihat pada Gambar 2. Dari model yang telah di *meshing* tersebut, kemudian dilakukan analisis dengan memberi beberapa sifat-sifat fisis (ρ , k , C_p dan μ) fluida air dan fluida nano(lihat tabel 1), dengan asumsi bahwa fluidanya merupakan fluida inkompresibel, serta kondisi batas yang terdiri dari:

1. Kecepatan aliran masuk (0,00001 m/s).
2. Semua dinding selain pemanas sama dengan temperatur lingkungan (300 K).

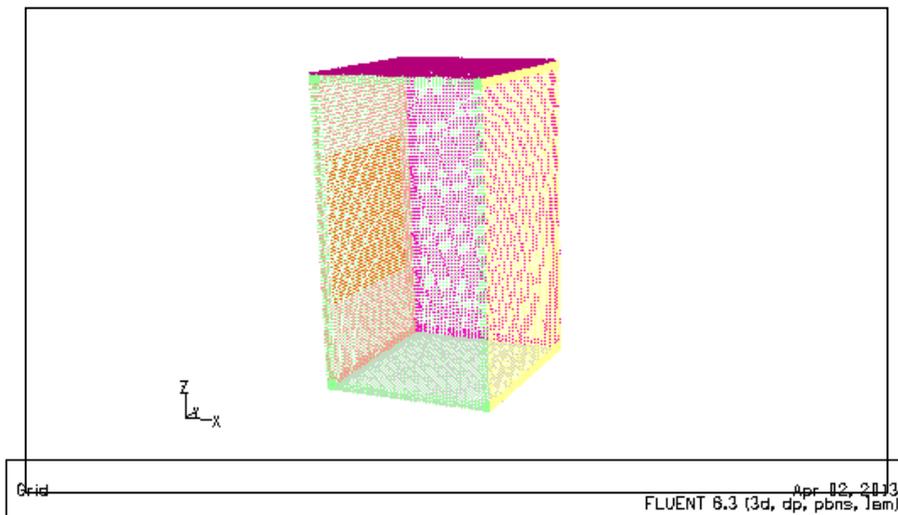
3. Daya pemanas divariasikan mulai 300Watt, 600 Watt, 900 Watt dan 1200 Watt secara homogen.
4. Mengatur parameter-parameter control solusi.
5. Menentukan kondisi awal aliran fluida.
6. Melakukan proses perhitungan.

Tabel 1. Sifat-sifat fisis Air dan Fluida Nano

Sifat fisis	Air	Fluida Nano
ρ (kg/m ³)	998,2	1000,2
C_p (kJ/kg.°C)	4182	4021
μ (kg/m.s)	0,6	0,7
k (W/m.°C)	0,001003	0,003



Gambar 1. Bentuk dan dimensi sistem yang akan dimodelkan



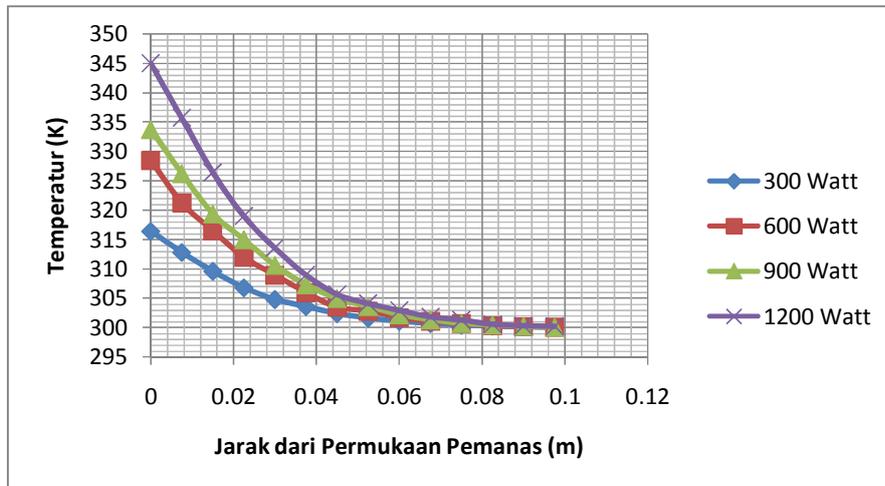
Gambar 2. Model sistem pemanas pelat yang dialiri fluida pendingin dan telah di meshing.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

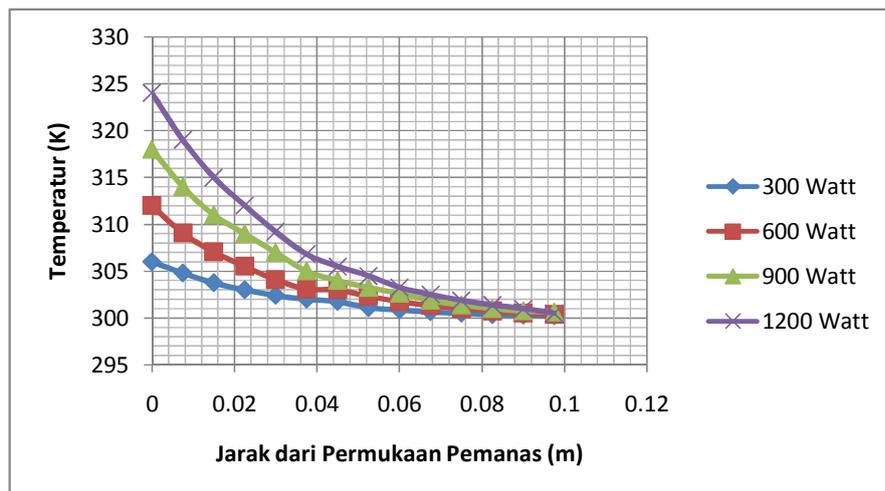
Hasil yang menarik dari analisis ini adalah distribusi temperatur dan distribusi kecepatan baik untuk fluida pendingin air maupun fluida nano. Adapaun hasil distribusi temperturnya seperti terlihat pada Gambar 3 dan 4 berikut,

Dari Gambar 3 dan 4 terlihat bahwa temperatur fluida pendingin baik untuk air maupun fluida nano akan turun dengan semakin jauh jaraknya dari pemanas, hingga pada jarak 0,1 m mencapai harga temperatur yang konstan. Hal ini menunjukkan bahwa

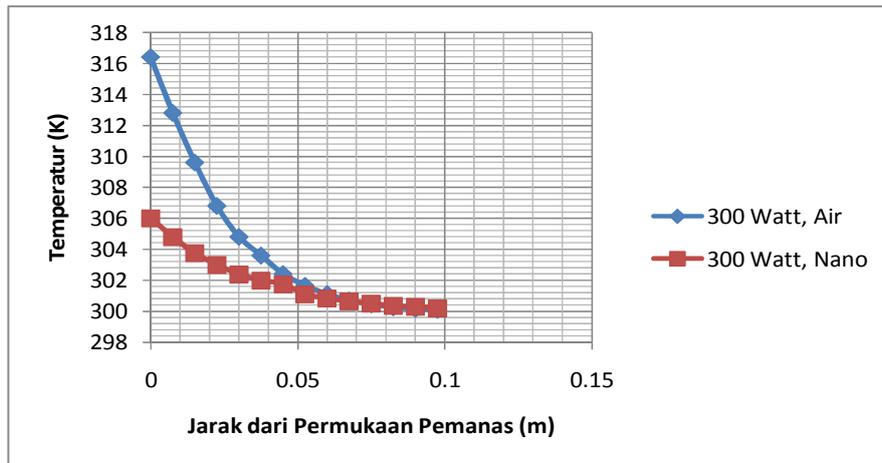
pengaruh pemanas terhadap temperatur fluida pendingin maksimum sampai jarak 0,1 m. Jadi perubahan temperatur fluida pendingin hanya terjadi dari jarak 0 m sampai 0,1 m, sedang di atas 0,1 m temperatur fluida pendingin mulai konstan. Terlihat pula jika dayanya dibesarkan baik untuk air maupun fluida nano akan menambah curam kurva distribusi temperturnya. Ini berarti jika daya diperbesar maka panas yang dipindahkan juga semakin besar karena potensi perpindahan panasnya juga semakin besar.



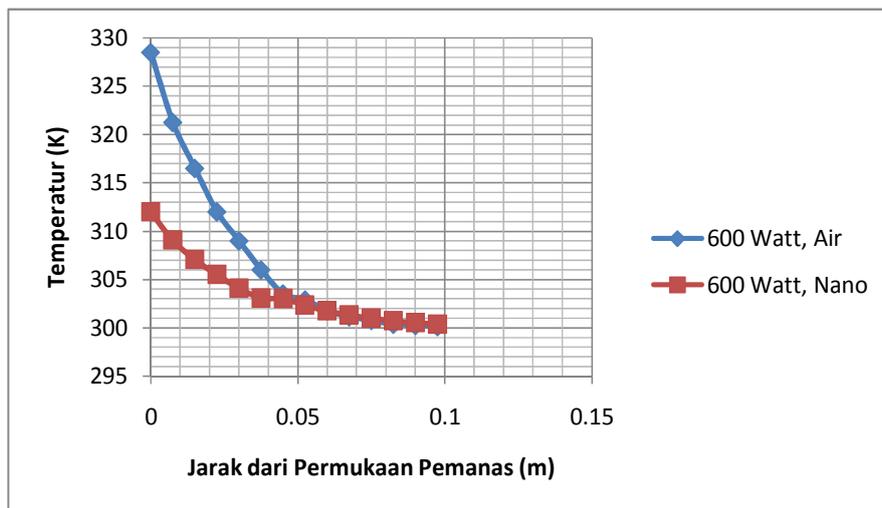
Gambar 3. Temperatur fluida air sebagai fungsi jarak dari permukaan pemanas.



Gambar 4. Temperatur fluida nano sebagai fungsi jarak dari permukaan pemanas.



Gambar 5. Perbandingan temperatur fluida air dan fluida nano sebagai fungsi jarak dari permukaan pemanas untuk daya pemanas 300 Watt.



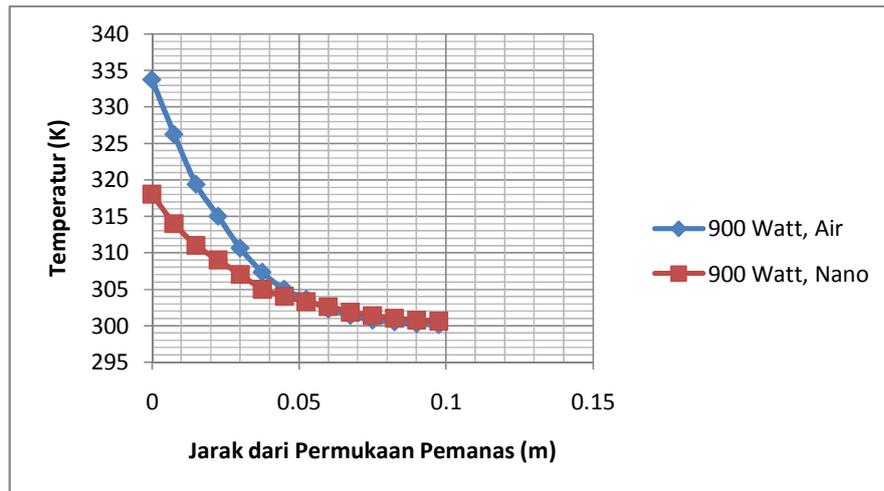
Gambar 6. Perbandingan temperatur fluida air dan fluida nano sebagai fungsi jarak dari permukaan pemanas untuk daya pemanas 600 Watt.

Dari Gambar 5,6,7 dan 8 terlihat bahwa kurva distribusi temperatur fluida nano selalu lebih rendah sekitar 3% sampai 5% jika dibandingkan dengan kurva distribusi temperatur fluida air untuk berbagai variasi daya pemanas, dari 300 Watt, 600 Watt, 900 Watt dan 1200 Watt. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan partikel ZrO_2 pada fluida air untuk menjadi fluida nano, kemampuan perpindahan panas konveksinya akan lebih baik dibandingkan fluida air.

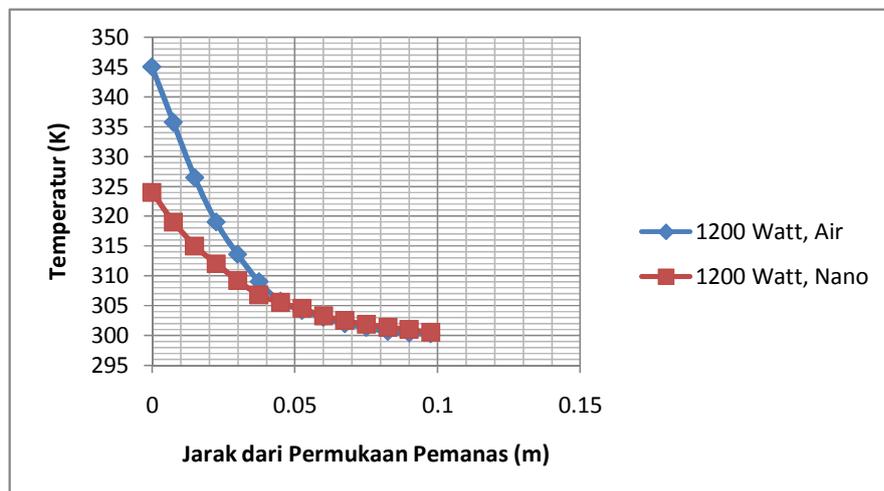
Dalam analisis ini diperoleh pula hasil yang berupa distribusi kecepatan fluida air dan fluida nano, lihat Gambar 9 dan 10. Hasil ini menunjukkan bahwa baik fluida air maupun fluida nano kecepatannya akan meningkat dan kemudian menurun dengan bertambahnya jarak dari pemanas. Hal ini terjadi karena di dekat pemanas gerakan fluida pendingin yang paling dominan disebabkan oleh pemanasan permukaan pemanas. Sehingga karena pemanasan tersebut mula-mula kecepatan fluida

akan bertambah hingga sampai pada jarak tertentu pengaruh pemanas berkurang dan densitas fluida bertambah besar sehingga kecepatannya turun. Distribusi kecepatan fluida nano mempunyai range yang lebih lebar dibandingkan dengan distribusi fluida air. Berarti daerah perubahan sifat fisik fluida nano (ZrO_2) lebih efektif dibandingkan dengan fluida air. Dengan demikian sangat sesuai dengan hasil

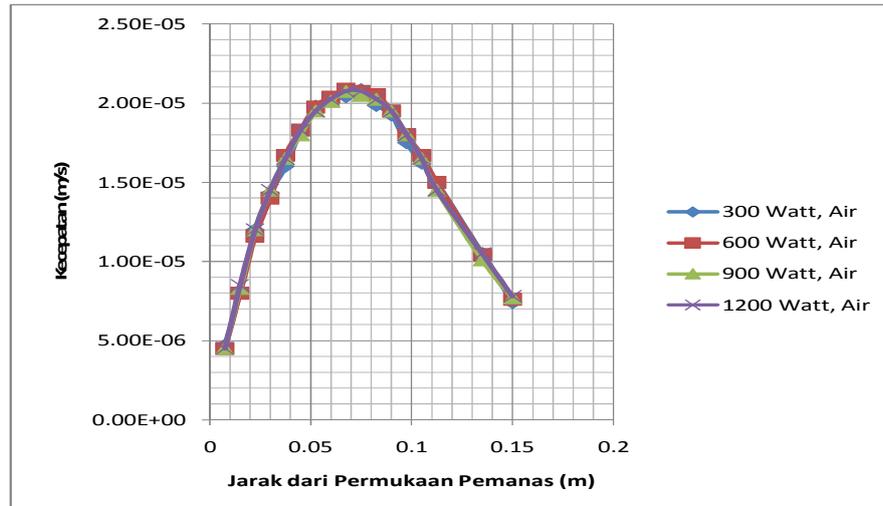
distribusi temperatur yang terlihat pada Gambar 5, 6, 7 dan 8. Akibatnya proses perpindahan panas fluida nano (ZrO_2) akan lebih baik jika dibandingkan dengan fluida air seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Mr.V.S. Patnaik⁽¹⁰⁾ menunjukkan bahwa fluida nano (Al_2O_3) mempunyai koefisien perpindahan panas yang lebih baik sekitar 0,55% - 3,5%.



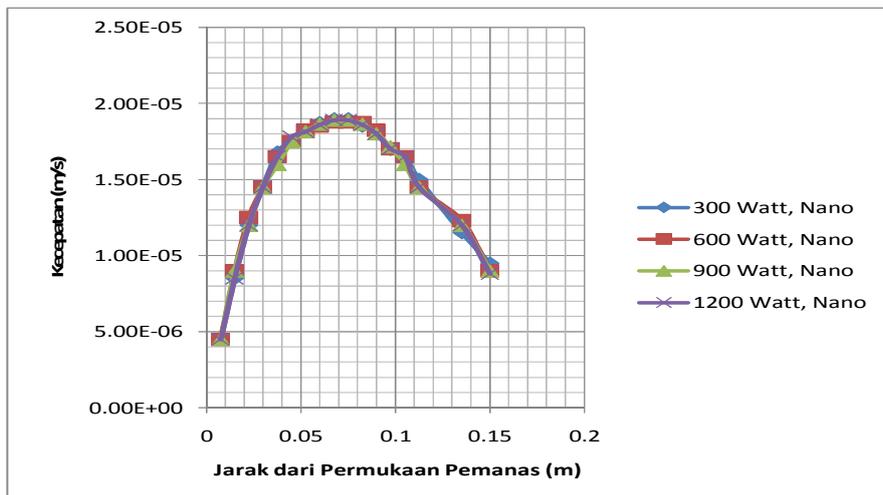
Gambar 7. Perbandingan temperatur fluida air dan fluida nano sebagai fungsi jarak dari permukaan pemanas untuk daya pemanas 900 Watt.



Gambar 8. Perbandingan temperatur fluida air dan fluida nano sebagai fungsi jarak dari permukaan pemanas untuk daya pemanas 1200 Watt.



Gambar 9. Kecepatan fluida air sebagai fungsi dari jarak terhadap pemanas.



Gambar 10. Kecepatan fluida nano sebagai fungsi dari jarak terhadap pemanas

5. KESIMPULAN.

1. Dari hasil analisis diperoleh bahwa fluida nano (ZrO_2) akan mempunyai kemampuan pendinginan yang lebih baik, 3% - 5% dibandingkan fluida air sehingga bisa lebih efektif untuk digunakan sebagai fluida pendingin, hanya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perbandingan campuran antara jumlah air dan partikel nanonya serta dibuktikan secara eksperimen, sehingga dapat diketahui kenaikan efektivitas yang berarti dibandingkan dengan fluida air.
2. Jika daya diperbesar maka perubahan temperatur menjadi besar, yang berarti potensi perpindahan panasnya juga semakin besar sehingga panas yang dipindahkan juga semakin besar.
3. Perubahan temperatur fluida pendingin baik untuk fluida air maupun fluida nano hanya terjadi pada jarak antara 0 m sampai 0,1 m, sedang di atas 0,1 m temperatur fluida pendingin mulai konstan. Hal ini terlihat pula pada kurva distribusi kecepataannya, di dekat pemanas kecepataannya naik dan jauh dari pemanas turun karena pengaruh pemanasannya berkurang.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. **MASTANEH HAJIPOUR, ASGHAR MOLAEI DEHKORDI**, Analysis of nanofluid heat transfer in parallel-plate vertical channels partially filled with porous medium, *International Journal of Thermal Sciences* 55, 2012, 103- 113.
2. **XIANG-QI WANG AND ARUN S. MUJUMDAR**, A Review On Nanofluids Part I: Theoretical And Numerical Investigation, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 25, No. 04, October - December, 2008, 613 – 630.
3. **ANONYMOUS**, Fluent/UNS & Rampant.4.2. tutorial guide vol.4., Lebanon, June 1997,1-1 - 5-1.
4. **PURADWI IW, MULYA JUARSA**, Studi Literatur, Inovasi Vitur Keselamatan Reaktor Nuklir Melalui Penggunaan Teknologi Fluida Nano Sebagai Fluida Pendingin, *Sigma Epsilon*, Vol. 13 No. 2, 2009, 49 -50.
5. **THEODORE L. BERGMAN, ADRENNE S. LAVINE, FRANKP. INCROPERA, DAVID P. DEWITT**, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* 7th ed., by John wiley & sons Inc., 2011, 3-8.
6. **BRUCE R. MUNSON, DONALD F. YOUNG, THEODORE H. OKIISHI**, *Fundamentals of Fluid Mechanics* 5th ed., by John wiley & sons Inc., 2006. 320-321.
7. **ANONYMOUS**, Fluent/UNS & Rampant.4.2. user's guide vol.2., Lebanon, June 1997, 8-3 - 8-5
8. **ANONYMOUS**, Fluent/UNS & Rampant.4.2, Fluent Incorporated user's guide vol.3 chapters 14-16, 14-2 - 14-7.
9. **DANI GUSTAMAN SYARIF, DJOKO HADI PRAJITNO**, Characteristic of Water - ZrO₂Nanofluid Made from Solgel Synthesized ZrO₂ Nanoparticle Utilizing Local Zircon, *Journal of Material Science and Engineering*, 2012.
10. **K.S. SUMAN KRISHNA KANTH**, Al₂O₃/Water Nanofluid as Coolant in Double-Tube Heat Exchanger (Guide), SlideShare Inc.All right reserved, 2013.

DISKUSI

1. Tjipto Sujitno:

Bagaimana cara membuat partikel nano ZrO₂ dan apa berbentuk serbuk, ukurannya berapat serta bagaimana mengukurnya ?

V.I.S. Wardhani:

Pada penelitian ini kami tidak membuat partikel nano tetapi menggunakan fluida nano yang diperoleh dari peneliti lain. Karena fluida nano yang diperoleh tersebut belum memiliki sifat-sifat fisika yang diperlukan untuk menentukan unjuk kerja termohidrolik sistem maka kami perlu melakukan analisis ini sebagai prediksi awal sebelum eksperimen dilakukan.

2. Diah Hidayanti:

Darimana sifat-sifat fluida nano diperoleh dan mengapa ada kecepatan masuk walaupun kecil ?

V.I.S. Wardhani:

Sifat-sifat fluida nano kita peroleh melalui eksperimen sederhana yaitu dengan pemanasan fluida nano yang volume dan beratnya tertentu. Dalam eksperimen tersebut dilakukan pengukuran perbedaan temperature, berat serta lainnya
Kecepatan masuk yang sangat kecil diberikan hanya sebagai cara (trick) agar program CFD yang digunakan bisa jalan. Kecepatan harus sangat kecil agar gerakan fluida dominant diakibatkan oleh pengaruh pemanasannya bukan dari kecepatan yang diberikan, karena proses yang dianalisis adalah proses konveksi alamiah.