

## FLUIDA NANO $ZrO_2$ SEBAGAI FLUIDA PENDINGIN PADA PERMUKAAN PEMANAS PELAT VERTIKAL: STUDI EKSPERIMENTAL

V. Indriati Sri Wardhani  
Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan – Bandung  
Jl. Tamansari no. 71 Bandung 40132  
Email : vero@batan.go.id

Diterima editor 22 September 2014  
Disetujui untuk publikasi 14 Oktober 2014

### ABSTRAK

**FLUIDA NANO  $ZrO_2$  SEBAGAI PENDINGIN UNTUK PERMUKAAN PEMANAS PELAT VERTIKAL: STUDI EKSPERIMENTAL.** Salah satu usaha untuk menaikkan efektivitas pendinginan suatu sistem adalah dengan mencoba mengganti fluida kerjanya, yaitu dengan menggunakan fluida nano. Fluida nano ini merupakan campuran antara air dengan partikel nano yang berukuran  $10^{-7}$ - $10^{-9}$  m. Karena fluida nano ini merupakan campuran air dan partikel nano, maka diharapkan campuran tersebut dapat homogen menjadi larutan yang serba sama sifatnya. Dalam keadaan yang homogen dan serba sama tersebut seharusnya fluida nano yang digunakan sebagai fluida pendingin dapat memindahkan energi dalam bentuk panas yang lebih besar. Dalam penelitian ini digunakan fluida nano yang dibuat dari campuran air dengan partikel nano  $ZrO_2$  dengan konsentrasi 1 gram/liter. Penelitian dimulai dengan membuat suatu sistem peralatan eksperimen yang terdiri dari pemanas berbentuk datar sebagai sumber panas dengan fluida nano sebagai pendingin dialirkan ke permukaan pemanas. Karena adanya perbedaan temperatur antara pemanas dan fluida pendingin tersebut, terjadilah proses perpindahan energi dalam bentuk panas. Efektivitas proses perpindahan energi ini akan dipengaruhi oleh bahan dan sifat termohidrolika fluida pendinginnya. Data yang diperoleh dari hasil eksperimen ini dipergunakan untuk menghitung koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ). Dari hasil perhitungan diperoleh koefisien perpindahan panas fluida nano lebih besar 1.08 kali dibandingkan dengan koefisien perpindahan panas air, hal ini menunjukkan bahwa fluida nano lebih efektif dipergunakan sebagai fluida pendingin dibandingkan air.

Kata kunci: Termohidrolik, fluida nano, pendingin, koefisien perpindahan panas konveksi.

### ABSTRACT

**NANO FLUID  $ZrO_2$  TO COOL THE SURFACE OF THE VERTICAL PLATE HEATER: EXPERIMENTAL STUDY.** One attempt to increase the effectiveness of the cooling process is by replacing the coolant itself, for example by replacing water with nano fluid. The nano fluid is a homogenous mixture of water with nano particles of  $10^{-7}$ - $10^{-9}$  m in diameter. . This homogeneous solution is expected to improve the capability of the coolant for transferring heat energy. The study is done by creating an experimental equipment consisting of a flat shaped heater as the heat source and nano fluid  $ZrO_2$  as coolant supplied to the heater to remove heat from its surface. Because of the temperature difference between the heater and the coolant, the heat energy generated in the heater will be transferred by the coolant. . The effectiveness of this energy transfer process are influenced by the nature of the material and the coolant fluid thermal hydraulics characteristic. Data obtained from this experimental study are used to calculate the convection heat transfer coefficient ( $h$ ) of the nano fluid  $ZrO_2$ . The result confirms that heat transfer coefficient of nano fluid  $ZrO_2$  is 1.08 higher than the heat transfer coefficient of the water. This indicates that nano fluid  $ZrO_2$  is more effective than water for heat transfer.

Keywords : Thermohidrolik, nano fluid, coolant, convection heat transfer coefficient.

## PENDAHULUAN

Di Indonesia, kegiatan yang berkaitan dengan penerapan fenomena nuklir telah lama dirintis oleh BATAN dengan berbagai kegiatan litbangnya. Kegiatan ini dimulai dengan dibangunnya reaktor-reaktor penelitian beserta fasilitas laboratorium penunjangnya seperti Reaktor Atom Bandung, Reaktor Kartini Yogyakarta dan Reaktor Serbaguna Serpong. Dengan fasilitas yang tersedia tersebut, kegiatan BATAN telah lama diarahkan pada sasaran penguasaan teknologi nuklir pada umumnya dan persiapan pembangunan PLTN di Indonesia khususnya. Kebijakan energi nasional yang mengarah pada pemanfaatan energi baru seperti energi nuklir, sudah tentu juga mencakup usaha-usaha dalam peningkatan keselamatan operasi reaktor dan optimalisasi dalam perancangan peralatan keselamatannya seperti sistem pendingin reaktor nuklir.

Oleh karena itu usaha pengembangan peralatan proses terutama untuk pendinginan sistem akan menjadi bagian pula dari usaha menunjang kebijakan energi tersebut. Salah satu usaha untuk meningkatkan pendinginan suatu sistem adalah dengan cara mengganti fluida pendinginnya dengan fluida nano. Telah dibuat fluida nano  $ZrO_2$  oleh BATAN Bandung dari bahan-bahan alami yang rencananya akan digunakan sebagai fluida pendingin reaktor. Oleh karena itu perlu dilakukan kegiatan penelitian tentang sifat-sifat termohidrolika fluida nano  $ZrO_2$  sebagai fluida pendingin pada permukaan pemanas berbentuk pelat. Fluida nano yang dibuat dari campuran air dengan partikel nano  $ZrO_2$  ini merupakan campuran yang homogen[1]. Dengan sifat yang homogen tersebut diharapkan fluida nano sebagai fluida pendingin dapat memindahkan energi dalam bentuk panas lebih banyak. Telah banyak fluida nano yang digunakan untuk memperbaiki efektivitas pendinginan suatu sistem seperti radiator, penukar kalor bahkan sistem pembangkit daya[2,3]. Diharapkan hasil kegiatan penelitian ini dapat menambah pertimbangan bagi para peneliti dalam rangka mencari alternatif bahan fluida pendingin sistem yang lebih efektif.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bahwa pendingin fluida nano  $ZrO_2$  mempunyai kemampuan pendinginan yang lebih baik dibandingkan dengan fluida pendingin konvensional (air) dengan melihat besarnya koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ). Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk melihat karakteristik tersebut melalui eksperimen agar dapat dibuktikan unjuk kerja pendinginan fluida nano tersebut.

## TINJAUAN PUSTAKA

Pada dua buah benda yang mempunyai perbedaan temperatur akan terjadi perpindahan energi dalam bentuk panas dari daerah yang mempunyai temperatur lebih tinggi ke daerah yang temperaturnya 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, maka akan terjadi proses perpindahan panas secara konduksi maupun konveksi [4,5]. Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas melalui perambatan 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. 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. Jika permukaan pemanas mengalirkan panas maka fluida di dekat permukaan mula-mula akan terpanaskan secara konduksi sehingga kerapatannya akan berkurang. Akibatnya rapat massa fluida yang terpanaskan menjadi lebih kecil dari

pada fluida yang tidak terpanaskan (dingin), maka fluida yang terpanaskan akan bergerak ke atas dan fluida yang dingin akan bergerak ke bawah. Mekanisme perpindahan panas seperti ini dikatakan sebagai perpindahan panas konveksi alamiah, sedangkan perpindahan panas yang gerakan fluidanya diperoleh dari alat-alat seperti pompa, kompresor, kipas dan lainnya maka merupakan perpindahan panas konveksi paksa[6].

Besarnya perpindahan panas konveksi juga ditentukan oleh besarnya koefisien perpindahan panas  $h$  yang tergantung dari dimensi dan kondisi aliran, Kondisi aliran untuk konveksi paksa ditentukan dari bilangan Reynold ( $R_e$ ) yang dituliskan pada persamaan (1) [7]:

$$R_{eL} = \frac{\rho u_m L}{\mu} \quad (1)$$

dengan :  
 $\rho$  = massa jenis ( $kg/m^3$ )  
 $u_m$  = kecepatan aliran (m/s)  
 $L$  = panjang pelat (m)  
 $\mu$  = viskositas dinamik (kg/m.s)

Bilangan Reynold digunakan sebagai kriteria untuk menunjukkan apakah aliran dalam pelat itu laminar atau turbulen. Kondisi aliran pelat datar yang mempunyai bilangan Reynold ( $R_e$ )  $< 5 \times 10^5$  adalah aliran laminar. Koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ) merupakan parameter yang diperoleh berdasarkan eksperimen yang nilainya bergantung kepada semua variabel yang mempengaruhi proses konveksi seperti geometri permukaan, sifat aliran fluida, properti fluida dan kecepatan fluida [8].

Untuk perpindahan panas konveksi paksa pada plat datar vertikal dengan aliran fluida laminar digunakan Bilangan *Nusselt Solusi Blasius* dengan persamaan (2) [9]:

$$\overline{N_{uL}} = 0,664 R_{eL}^{1/2} Pr^{1/3} \quad (2)$$

Bilangan Prandl (Pr) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3).

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (3)$$

Solusi Blasius hanya berlaku untuk suatu kasus perpindahan panas yang mempunyai:

- Lapisan batas laminer
- Bilangan Prandl ( $Pr$ )  $\geq 0,6$
- Sifat fluida dievaluasi pada suhu film ( $T_f$ )

Untuk menghitung koefisien perpindahan panas konveksi dapat dilakukan dengan persamaan bilangan Nusselt yang dapat dituliskan seperti persamaan (4)[10] :

$$N_{uL} = \frac{h_L L}{k} \quad (4)$$

dengan,

$h$  : koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$k$  : konduktivitas panas ( $W/m \text{ } ^\circ C$ )

$C_p$  : panas jenis ( $kJ/kg \text{ } ^\circ C$ )

## METODOLOGI

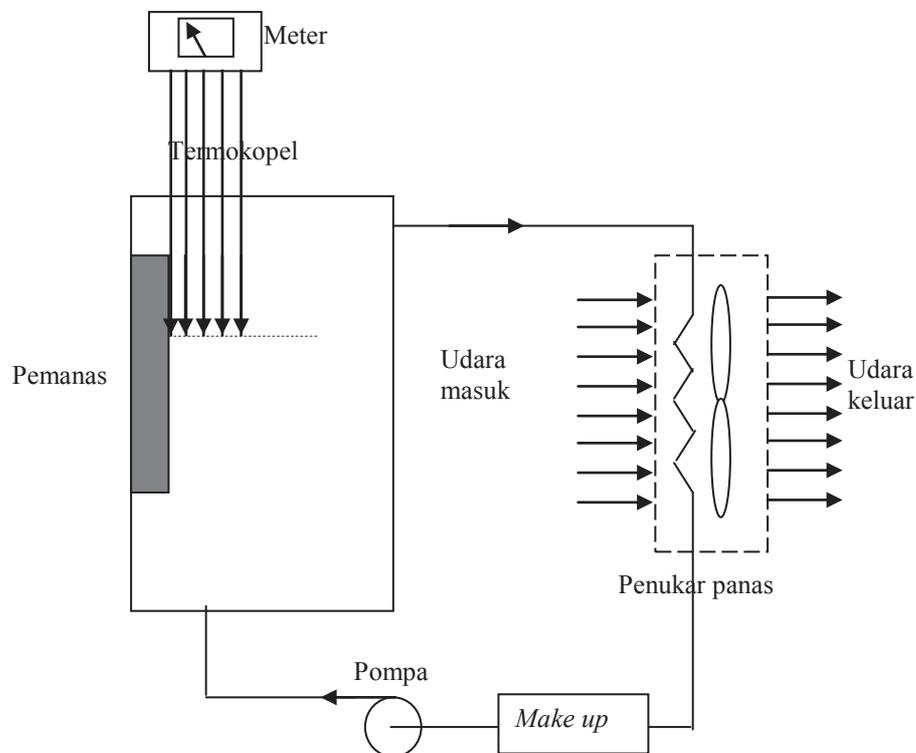
Metode yang digunakan di dalam penelitian ini adalah eksperimen yang didahului dengan perancangan sistem eksperimen dan pembuatan alat eksperimen. Untuk mencapai akhir sasaran penelitian ini, maka penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

### Perancangan Alat Uji

Perancangan dimulai dengan penentuan bentuk, bahan dan volume kolam proses berdasarkan daya pemanas yang akan digunakan. Daya maksimum pemanas dipilih 500 watt agar tidak terlalu panas sehingga tidak terjadi perpindahan panas dua fasa dan daya diatur melalui perangkat pengatur daya. Untuk membuang panasnya digunakan penukar panas cair-udara dan udara digunakan sebagai fluida pendingin yang digerakkan oleh kipas seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

### Pembuatan Alat Uji

Pembuatan alat uji dimulai dengan fabrikasi kolam proses yang berbentuk kotak berukuran  $(14,5 \times 14,5 \times 25)$  cm<sup>3</sup>, pemanas dengan ukuran  $(12 \times 8)$  cm<sup>2</sup> yang diletakkan di tengah-tengah salah satu dinding kolam. Setelah seluruh komponen selesai dibuat atau tersedia kemudian dilanjutkan dengan merangkai komponen-komponen eksperimen tersebut menjadi suatu sistem proses perpindahan panas sesuai rancangan. Proses pembuatan sistem dan sistem proses perpindahan panas secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Blok diagram eksperimen



Gambar 2. Peralatan eksperimen

### Eksperimen

Uji coba (pengujian) dimulai dengan pemasangan termokopel dalam kolam proses di lima titik dekat pemanas. Kemudian fluida kerja (air atau fluida nano  $ZrO_2$ ) dimasukkan ke dalam kolam proses, dilanjutkan dengan menjalankan pompa supaya fluida kerja dapat bersirkulasi di rangkaian primer, sedangkan di rangkaian sekunder penukar kalor dioperasikan dengan menjalankan kipasnya. Setelah semua beroperasi pemanas dijalankan pada daya tertentu dan dilakukan pengukuran temperatur fluida kerja di beberapa titik di dekat pemanas, hasilnya terlihat pada Tabel 1. Eksperimen pertama dilakukan dengan fluida kerja air kemudian eksperimen yang kedua dilakukan dengan menggunakan fluida nano  $ZrO_2$  dengan konsentrasi 1 gram/liter yang dialirkan melewati pemanas berbentuk pelat datar dengan daya 500 watt. Selanjutnya dicatat penunjukan temperatur pada lima titik termokopel dengan urutan 1 s/d 5 dengan jarak antar termokopel 1 cm, data pengukuran temperatur hasil eksperimen yang diperoleh dapat dipergunakan untuk membandingkan efektivitas pendinginan suatu sistem dengan fluida air dan fluida nano  $ZrO_2$ .

Tabel 1. Data temperatur fluida kerja

| Jarak (m) | Temperatur fluida nano ( $^{\circ}C$ ) | Temperatur air ( $^{\circ}C$ ) |
|-----------|--|--------------------------------|
| 0.001     | 31.57                                  | 34.2                           |
| 0.01      | 31.217                                 | 33.2                           |
| 0.02      | 30.919                                 | 32.4                           |
| 0.03      | 30.826                                 | 32.0                           |
| 0.04      | 30.757                                 | 31.8                           |

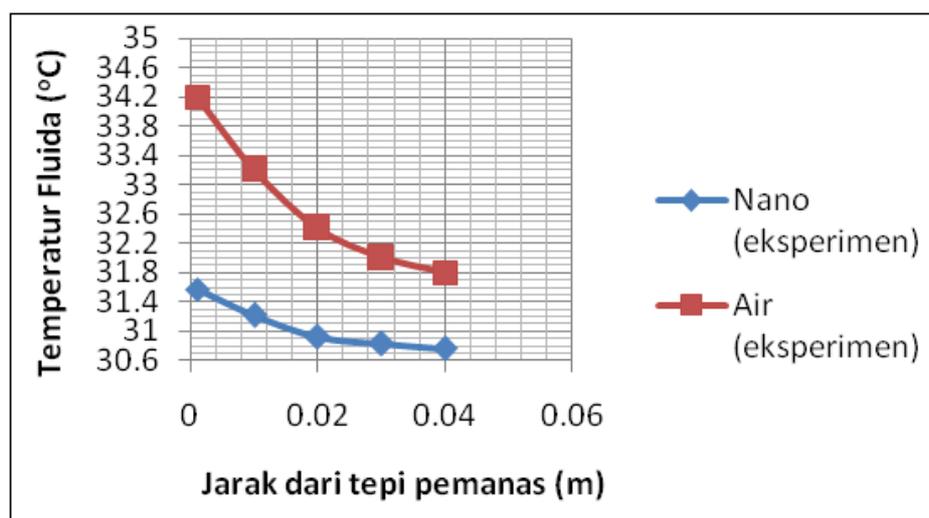
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen dan perhitungan yang diperoleh berupa data-data fluida kerja nano dengan daya pemanas ( $Q$ )= 500 watt, laju aliran pendingin( $\dot{m}$ )=18,5 kg/s, viskositas ( $\mu$ )=1,14 x 10<sup>-3</sup> kg/ms, massa jenis ( $\rho$ )=980 kg/m<sup>3</sup>, kecepatan aliran fluida sejajar pelat=0,019 m/s, sedangkan untuk air daya pemanas ( $Q$ )= 500 watt, laju aliran pendingin( $\dot{m}$ )=18,75 kg/s, viskositas ( $\mu$ )=2,19 x 10<sup>-4</sup> kg/ms, massa jenis ( $\rho$ )= 940 kg/m<sup>3</sup>, kecepatan aliran fluida sejajar pelat=0,002 m/s. Di samping itu diperoleh juga data temperatur fluida kerja sebagai fungsi dari jarak dinding pemanas baik untuk air maupun fluida nano. Untuk mengetahui kondisi aliran fluida perlu dilakukan perhitungan bilangan Reynold, hasil perhitungan bilangan Reynold untuk fluida nano dan air dapat dilihat pada Tabel 2. Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa kondisi aliran dalam eksperimen di sini adalah laminar.

Tabel 2. Hasil perhitungan bilangan Reynold

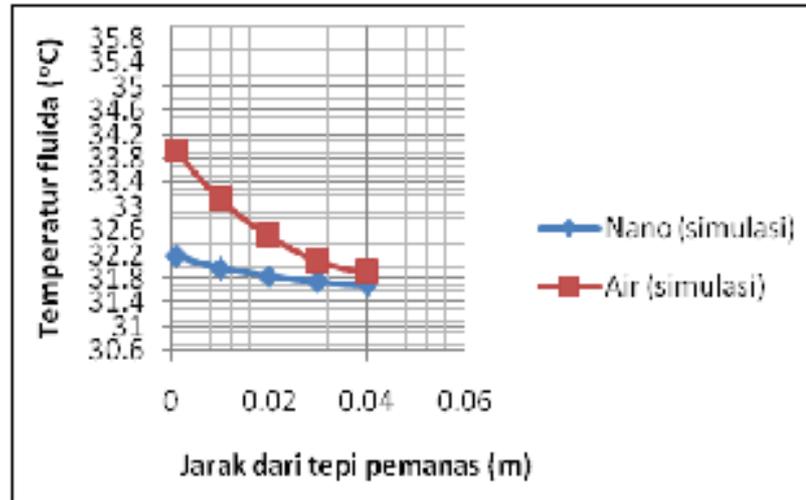
| Jarak (m) | Bilangan Reynold fluida nano | Bilangan Reynold Air |
|-----------|------------------------------|----------------------|
| 0.001     | 171,9                        | 858,5                |
| 0.01      | 343,85                       | 1716,9               |
| 0.02      | 515,79                       | 2575,3               |
| 0.03      | 687,72                       | 3433,8               |
| 0.04      | 589,65                       | 4292,2               |

Untuk menunjukkan bahwa fluida nano mampu berfungsi sebagai fluida pendingin yang lebih baik dibandingkan dengan air, maka dari data temperatur hasil eksperimen yang diperoleh dibuat kurva hubungan antara temperatur fluida kerja dengan jarak dari dinding pemanas, baik untuk air maupun fluida nano. Kurva distribusi temperatur sebagai fungsi jarak pemanas untuk fluida pendingin nano dan air dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



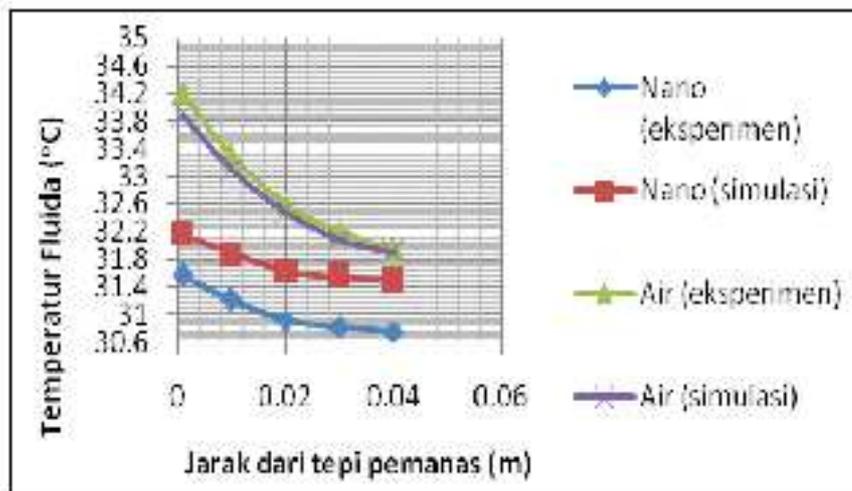
Gambar 3. Kurva distribusi temperatur fluida nano dan air sebagai fungsi jarak pemanas hasil eksperimen

Dari Gambar 3 di atas terlihat bahwa kurva fluida nano mempunyai gradien yang lebih kecil dibandingkan dengan kurva air. Hal ini berarti bahwa beda temperatur fluida nano lebih kecil daripada air, sehingga fluida nano mempunyai koefisien perpindahan panas yang lebih besar dan mampu membuang panas yang lebih banyak dibandingkan dengan fluida air.



Gambar 4. Kurva distribusi temperatur fluida nano dan air sebagai fungsi jarak pemanas hasil simulasi

Di samping eksperimen, penelitian juga dilakukan dengan simulasi menggunakan program *Computational Fluid Dynamics*. Seperti halnya dengan kurva distribusi temperatur hasil eksperimen, pada Gambar 4 terlihat bahwa kurva distribusi temperatur fluida kerja hasil simulasi menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu gradien kurva distribusi temperatur fluida nano lebih kecil dibandingkan dengan gradien kurva distribusi temperatur air, hal ini berarti bahwa koefisien perpindahan panas nano lebih besar daripada air.



Gambar 5. Perbandingan Kurva distribusi temperatur fluida nano dan air sebagai fungsi jarak pemanas hasil simulasi dan eksperimen

Dari perbandingan hasil eksperimen dan hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 5 terlihat bahwa beda temperatur hasil simulasi untuk air lebih kecil dibandingkan hasil eksperimennya karena dalam simulasi banyak digunakan asumsi-asumsi yang ideal seperti panas yang dikeluarkan pemanas merata, padahal dalam keadaan sebenarnya tidak merata. Ini akan menyebabkan terjadi perbedaan antara hasil simulasi dengan keadaan sebenarnya, yaitu hasil eksperime. Dari data hasil eksperimen dapat dihitung juga besarnya parameter koefisien perpindahan konveksi  $h$  yang nilainya tergantung pada viskositas fluida, kecepatan fluida, perbedaan temperatur permukaan benda dengan fluida, kapasitas panas fluida, rapat massa fluida dan bentuk permukaan kontak. Hasil perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi dapat dilihat pada Tabel 3 berikut :

Tabel 3. Koefisien perpindahan panas ( $h$ ) fluida kerja

| Jarak (m) | Nano<br>$h$ ( $W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$ ) | Air<br>$h$ ( $W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$ ) |
|-----------|---|--|
| 0.001     | 37.76   | 35.4   |
| 0.01      | 18.88   | 17.7   |
| 0.02      | 12.59   | 11.08  |
| 0.03      | 9.44  | 8.55   |
| 0.04      | 7.55  | 7.08   |

Hasil perhitungan koefisien perpidahan panas juga menunjukkan bahwa besarnya koefisien perpindahan panas nano lebih besar daripada air meskipun perbedaannya tidak terlalu besar, hal ini disebabkan kemungkinan karena adanya campuran partikel  $ZrO_2$  dan air yang tidak homogen akibat pembuatan yang tidak benar atau sempurna, sehingga terjadi pengendapan. Supaya efektivitas pendinginan fluida nano  $ZrO_2$  jauh lebih baik dari air perlu penambahan konsentrasi partikel  $ZrO_2$ , sehingga kerapatannya menjadi lebih tinggi dan lebih mudah untuk memindahkan panas.karena konduksinya akan lebih baik.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil perhitungan dan perbandingan dapat disimpulkan bahwa efektivitvitas fluida nano  $ZrO_2$  dengan konsentrasi 1 gram/liter sebagai pendingin permukaan pemanas berbentuk pelat datar lebih baik dari air jika digunakan sebagai fluida pendingin. Hal ini telah dibuktikan dari hasil kurva distribusi temperatur dan perhitungan parameter koefisien perpindahan panasnya, meskipun perbedaan tersebut tidak terlalu besar disebabkan percampuran partikel  $ZrO_2$  dalam fluida nano kurang homogen. Perbedaan hasil yang terjadi dalam perbandingan dengan simulasi disebabkan sifat-sifat fisis aliran yang tersedia dalam software yang digunakan cenderung mendekati harga yang ideal sehingga diperoleh hasil yang lebih tepat.

Untuk memperoleh efektivitas pendinginan yang lebih baik perlu dilakukan eksperimen dengan penambahan konsentrasi partikel  $ZrO_2$  supaya kerapatannya menjadi lebih tinggi, sehingga konduktivitasnya meningkat.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada personil kelompok Fisika Bahan yang telah membuatkan fluidanano untuk kami gunakan dalam penelitian ini. Dan tidak lupa penulis ucapkan terimakasih kepada bapak Henky yang telah membantu pelaksanaan eksperimen dan sumbang sarannya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Dani Gustaman Syarif, Djoko Hadi Prajitno. Characteristic of Water - ZrO<sub>2</sub> nanofluid made from solgel synthesized ZrO<sub>2</sub> nanoparticle utilizing local zircon. *Journal of Material Science and Engineering*. 2012; 2: 122-127.
2. Xiang-Qi Wang and Arun S. Mujumdar. A review on nanofluids part I: Theoretical and numerical investigation. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 2008;.25(4): 613 – 630.
3. 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*. 2012;.55: 103- 113.
4. Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, Frank P. Incropera, David P. Dewitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* 7<sup>th</sup> ed., by John Wiley & Sons Inc.; 2011, 3-8.
5. Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi. *Fundamentals of Fluid Mechanics* 5<sup>th</sup> ed., by John Wiley & Sons Inc.; 2006, 320 – 321.
6. F. Kreith (editor). *The CRC Handbook of Thermal Engineering*, CRC Press; 2000.
7. J.P. Holman. *Heat Transfer*. tenth edition, Published by Mc. Graw-hill, a business unit of the Mc Graw-Hill Companies, Inc., 1221 Copyright; 2010, 277-360.
8. Forced convection: laminar flow over an isothermal plate. Available from: [http://www.efunda.com/formulae/heat\\_transfer/convection\\_forced/isothermalplate\\_lamflow.cfm](http://www.efunda.com/formulae/heat_transfer/convection_forced/isothermalplate_lamflow.cfm). Accessed April 2013.
9. Ari Darmawan Pasek. Materi kuliah MS 3245 perpindahan panas modul 2. Teknik mesin ITB; 2010.
10. S.E. Mahgoub. Forced convection heat transfer over a flat plate in a porous medium, *Ain Shams Engineering Journal*. 2013; 4: 605-613.
11. V.Indriati Sri Wardhani dan Henky Poedjo Rahardjo. Analisis proses termohidrolik fluida nano ZrO<sub>2</sub> untuk pendingin pemanas pelat dengan program CFD. Prosiding seminar UNPAD; 2013. 511-519.