

SINTESIS DAN APLIKASI NANOPARTIKEL ZrO_2 UNTUK MENAIKKAN PERFORMANSI MESIN PENDINGIN SINTESIZED AND APPLICATION OF ZrO_2 NANOPARTICLE TO IMPROVE REFRIGERATION PERFORMANCE

Ayu Novita Sari¹, Abrar Ismardi², Asep Suhendi³, Dani Gustaman⁴

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

⁴Nuclear Technology Center for Materials and Radiometry BATAN Bandung

¹ayunoovi@student.telkomuniversity.ac.id, ²abrarselah@telkomuniversity.ac.id,

³asepsuhendi@telkomuniversity.ac.id ⁴danigustamansyarief@gmail.com

Abstrak

Dalam penelitian ini dipelajari tentang pembuatan material berukuran nanopartikel dan aplikasinya pada refrigerator. Nanopartikel mempunyai karakteristik yang lebih baik jika dibandingkan dengan partikel dengan ukuran yang besar. Pada penelitian ini digunakan material ZrO_2 karena ketersediaan bahan utama ($ZrSiO_4$) untuk membuat ZrO_2 melimpah di Indonesia dan konduktivitas termal yang dimilikinya berpotensi dimanfaatkan sebagai nanofluida. Nanopartikel dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti pada refrigerator. Nanopartikel ZrO_2 dicampurkan dengan oli refrigeran yang selanjutnya disebut sebagai nanofluida, untuk meningkatkan performansi dari refrigerator.

Dari penelitian terdahulu diketahui bahwa nanopartikel dapat meningkatkan konduktivitas termal fluida dasar pada nanofluida. Pada penelitian ini, nanofluida dibuat dengan mendispersikan nanopartikel ZrO_2 ke dalam oli refrigeran R-134a. Nanopartikel ZrO_2 dibuat melalui dua tahap, yaitu fusi kaustik dan sintesis metode sol-gel. Untuk memastikan bahwa hasil sintesis berupa nanopartikel ZrO_2 , maka dilakukan analisis XRD, *surface area meter*, dan TEM. Selanjutnya, nanofluida yang telah dibuat digunakan sebagai pelumas pada kompresor refrigerator sebagai implementasi dari aplikasi teknologi nanopartikel pada refrigerator. Data XRD memperlihatkan bahwa ZrO_2 berbentuk kristal ZrO_2 baddeleyit monoklinik dan ZrO_2 kubik. Data pengukuran dengan *surface area meter* memperlihatkan nanopartikel ZrO_2 memiliki luas permukaan jenis 73,952 m^2/g dan hasil pengukuran dengan TEM memperlihatkan nanopartikel ZrO_2 memiliki ukuran 14 nm. Hasil pengujian dengan refrigerator memperlihatkan bahwa nanopartikel ZrO_2 meningkatkan performansi refrigerator 15.62% dan menurunkan konsumsi daya listrik sebesar 8,28% pada konsentrasi 0,105% volume nanofluida ZrO_2 dibandingkan dengan performansi dan konsumsi daya listrik refrigerator menggunakan oli R134a.

Kata kunci : nanopartikel, nanofluida, ZrO_2 , fusi kaustik, sol-gel, performansi, refrigerator,

Abstract

This research is conducted as a study about nanoparticles from the creation to the application. Nanoparticles have better characteristics than the large size particles. On this research, material ZrO_2 are used because $ZrSiO_4$, the main ingredients to make ZrO_2 , are available in Indonesia in a great amount. Besides, its thermal conductivity also makes it useful as nanofluids. Nanoparticles can be used in everyday life, such as in the refrigerator. The mixture of ZrO_2 nanoparticle and refrigerant oil, which will further referred as refrigerant, can increase the performance of the refrigerator.

From previous studies it is known that nanoparticles can increase the basic fluid thermal conductivity of nanofluida. In this study, nanofluids is created by dispersing nanoparticles ZrO_2 into refrigerant oil R134a. ZrO_2 nanoparticles are made through two stages, which are caustic fusion and synthesis method of sol-gel. To ensure that the result of the synthesis of nanoparticles is in the form of ZrO_2 , XRD analysis is done followed by the surface area meter, and TEM. Furthermore, the nanofluida that has been created is used as a lubricant in the compressor of a refrigerator as an implementation of nanoparticles on refrigerator. XRD data shows that the ZrO_2 is made in monoclinic baddeleyit and cubic crystal form. Data measurement by surface area meter shows the nanoparticle ZrO_2 has a surface area of 73.952 type m^2/g and measuring results with TEM showed the nanoparticles ZrO_2 has a size of 14 nm. The test results with the refrigerator shows that nanoparticles ZrO_2 increase refrigerator performance by 15.62% with 8,28% lower electric power consumption at a concentration of 0.105% nanofluid compared to the performance and power consumption of the electrical refrigerator using R134a oil.

Keywords: nanoparticle, nanofluids, ZrO_2 , caustics fusion, sol-gel, performance, refrigerator

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Performansi mesin pendingin dapat dilakukan dengan banyak cara yaitu dengan membuat fluida pendingin dan membuat pelumas kompresor yang lebih baik sifatnya. Pada kasus membuat fluida pendingin yang lebih baik, para ahli telah banyak melakukan penelitian tentang ini, sebagai contoh dengan cara menambahkan nanopartikel pada refrigeran ke dalam mesin pendingin [1]. Nanopartikel tersebut akan menaikkan konduktivitas thermal refrigeran, menaikkan koefisien evaporasi perpindahan panas, dll. untuk membuat pelumas kompresor mesin pendingin dilakukan dengan menambahkan nanopartikel ke dalam oli refrigeran. Dari cara ini ditunjukkan bahwa efisiensi sistem meningkat, sistem bekerja tanpa adanya sumbatan, dll. Akibat dari penambahan nanopartikel ke dalam refrigeran maupun ke dalam oli refrigeran, pada akhirnya menghasilkan performansi mesin pendingin yang lebih baik. Sendil Kumar dan Elansezhian mempelajari kegunaan penambahan nanopartikel pada mesin pendingin dengan mencampurkan nanopartikel pada oli refrigeran, disini material nanopartikel yang digunakannya adalah alumina (Al_2O_3) sedangkan oli refrigeran yang dipakai adalah poly alkylene glycol (PAG). Penambahan nanopartikel Al_2O_3 pada oli ke dalam mesin pendingin mampu meningkatkan performansi mesin pendingin dibandingkan tanpa menambahkan nanopartikel, yaitu sebanyak 10.32% pada saat menggunakan konsentrasi volume nanopartikel pada PAG 0.2% [2].

Pada penelitian ini, peneliti melakukan sintesis nanopartikel ZrO_2 dari Zirkonium silikat (ZrSiO_4) dengan Metode fusi kaustik dan sol-gel, dan nanopartikel ZrO_2 hasil sintesis ini akan dicampurkan dengan pelumas berupa oli refrigeran R134a lalu mengaplikasikannya ke mesin pendingin. Setelah pengaplikasian akan dipelajari dan diamati efek dari penambahan nanopartikel ZrO_2 pada mesin pendingin terhadap performansinya. Pemanfaatan nanopartikel ZrO_2 pada penelitian sebelumnya telah diterapkan, dengan mencampurkan ke dalam fluida air sebagai pendingin pada permukaan panas pelat vertikal. Hasilnya menunjukkan bahwa fluida nano lebih efektif digunakan sebagai pendingin jika dibandingkan dengan fluida dasarnya berupa air [3]. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Dani Gustaman menunjukkan bahwa pemakaian nanopartikel pada air dengan konsentrasi 1% nanopartikel ZrO_2 disimpulkan bahwa konduktivitas thermalnya 5.5% lebih tinggi jika dibandingkan dengan airnya saja [4]. Penggunaan nanopartikel ZrO_2 pada penelitian ini selain karena telah teruji kemampuannya dalam menaikkan konduktivitas thermal fluida dasarnya, hal lain yang menjadi pertimbangan peneliti adalah karena jumlahnya dialam dalam bentuk ZrSiO_4 melimpah di Indonesia, dan proses pembuatan nanopartikelnya relatif murah dan simpel yaitu berupa sintesis dengan metode fusi kaustik dan sol-gel.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Mensintesis nanopartikel ZrO_2 berukuran ≤ 100 nm dari ZrSiO_4 .
2. Mengkarakterisasi nanopartikel ZrO_2 .
3. Mempelajari dan mengamati efek penambahan nanopartikel ZrO_2 pada oli R134a (nanofluida ZrO_2 -R134a) terhadap performansi mesin pendingin.

1.3. Tujuan Penelitian

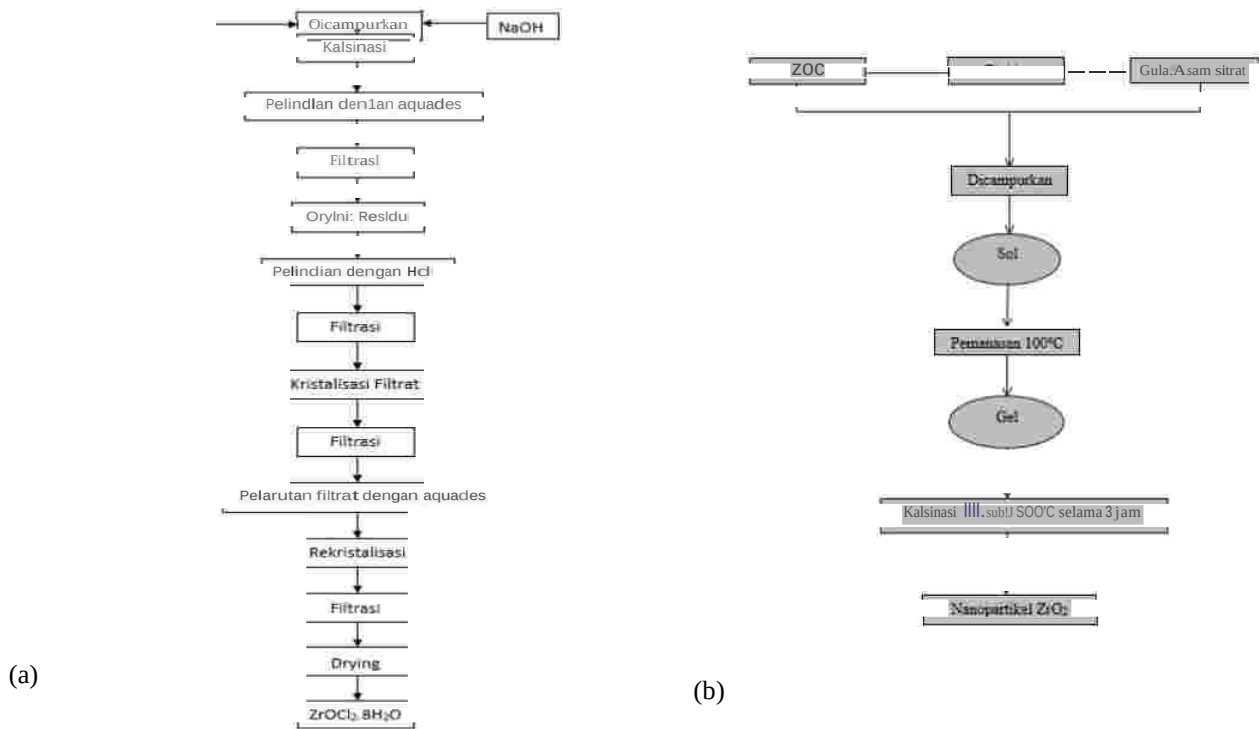
Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Mensintesis nanopartikel ZrO_2 berukuran ≤ 100 nm dari ZrSiO_4 .
2. Mengkarakterisasi nanopartikel ZrO_2 .
3. Mempelajari dan mengamati efek penambahan nanopartikel ZrO_2 pada oli R134a (nanofluida ZrO_2 -R134a) terhadap performansi mesin pendingin.

2. Dasar Teori

2.1. Sintesis Zirkonium Oksida (ZrO_2) dari Zirkonium Silikat (ZrSiO_4)

Sintesis nanopartikel ZrO_2 dari ZrSiO_4 yang merupakan bahan lokal yang berlimpah di Indonesia khususnya di Bangka-Belitung dan Kalimantan, menggunakan kombinasi metode fusi kaustik dan solgel. Fusi kaustik digunakan untuk memisahkan ZrO_2 dari SiO_2 dan sol-gel digunakan untuk memperoleh nanopartikel ZrO_2 [5] dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram Alir Sintesis Zirkonium Oksida (ZrO₂) dari Zirkonium Silikat (ZrSiO₄) dengan metode (a) Fusi kaustik dan (b) Sol-gel

2.2 Aplikasi Nanofluida ZrO₂-R134a Pada Mesin Pendingin

Tahap ini diawali dengan menara ulang mesin pendingin agar pada saat pengujian menghasilkan data yang akurat. Kemudian menyiapkan 4 sampel nanopartikel ZrO₂-R134a, yaitu sampel dengan konsentrasi 0%, 0.035%, 0.07%, dan 0.105%. Setelah menyiapkan sampel, maka hal selanjutnya dilakukan adalah mengisi air pada tabung pendingin (evaporator) pada mesin pendingin sebanyak 1500 ml, menyesuaikan dengan kapasitas tabung yang terbatas, dan memasukkan satu sampel nanofluida ZrO₂-R134a (konsentrasi 0%) ke dalam kompresor mesin pendingin. Hal berikutnya yang dilakukan adalah menyiapkan rangkaian peralatan untuk aplikasi Nanofluida ZrO₂-R134a pada mesin pendingin seperti pada Gambar 2.2.

Rangkaian peralatan terdiri dari mesin pendingin air, pengukur suhu, wattmeter, dan stopwatch. Mesin pendingin disambungkan ke terminal listrik yang telah disambungkan dengan wattmeter, hal ini bertujuan untuk mengukur daya elektrik yang masuk ke dalam mesin pendingin. Sensor suhu dari alat pengukur suhu diletakkan ke dalam air untuk mengukur suhu air yang terdapat pada tabung pendingin (evaporator). Pengambilan data dilakukan dengan mengunci parameter suhu, sehingga data yang dihasilkan didapat dengan mencatat daya listrik yang masuk ke mesin pendingin dan lamanya waktu sejak dinyalainya mesin pendingin hingga suhu air turun sebanyak 7°C. Berapa waktu menurunkan suhu 7°C sehingga pembacaan data lebih akurat.

Pada saat mesin pendingin dihidupkan, wattmeter akan mulai menghitung daya elektrik yang masuk kedalam mesin pendingin dan kompresor akan memampatkan refrigeran lalu mengalirkannya menuju kondensor. Di kondensor refrigeran membuang kalornya ke lingkungan. Setelah suhu refrigeran turun, maka refrigeran akan melewati pipa kapiler untuk menurunkan tekanan dari refrigeran. Selanjutnya, refrigeran bersuhu dan bertekanan rendah akan melewati evaporator untuk menyerap kalor dari air sehingga suhu air pun akan turun dan refrigeran akan berubah wujud menjadi gas. Setelah melewati evaporator, refrigeran bersuhu tinggi bertekanan rendah akan melewati kompresor lagi untuk dinaikkan tekanannya dan refrigeran akan terus melewati proses berikutnya secara berulang hingga mesin pendingin dimatikan.

Setelah aplikasi sampel nanofluida ZrO₂-R134a konsentrasi 0% pada mesin pendingin dilakukan, maka dilanjutkan dengan aplikasi sampel nanofluida ZrO₂-R134a konsentrasi yang lain secara bergantian dengan cara yang sama seperti yang telah diterapkan pada aplikasi sampel yang pertama. Saat semua data pengujian sudah diperoleh, maka dilakukan perhitungan nilai performansi mesin pendingin untuk tiap-tiap perngaplikasian, dengan cara membagi kalor yang digunakan per jumlah waktu dengan daya elektrik yang masuk kedalam mesin pendingin, kemudian dibandingkan nilai performansinya.

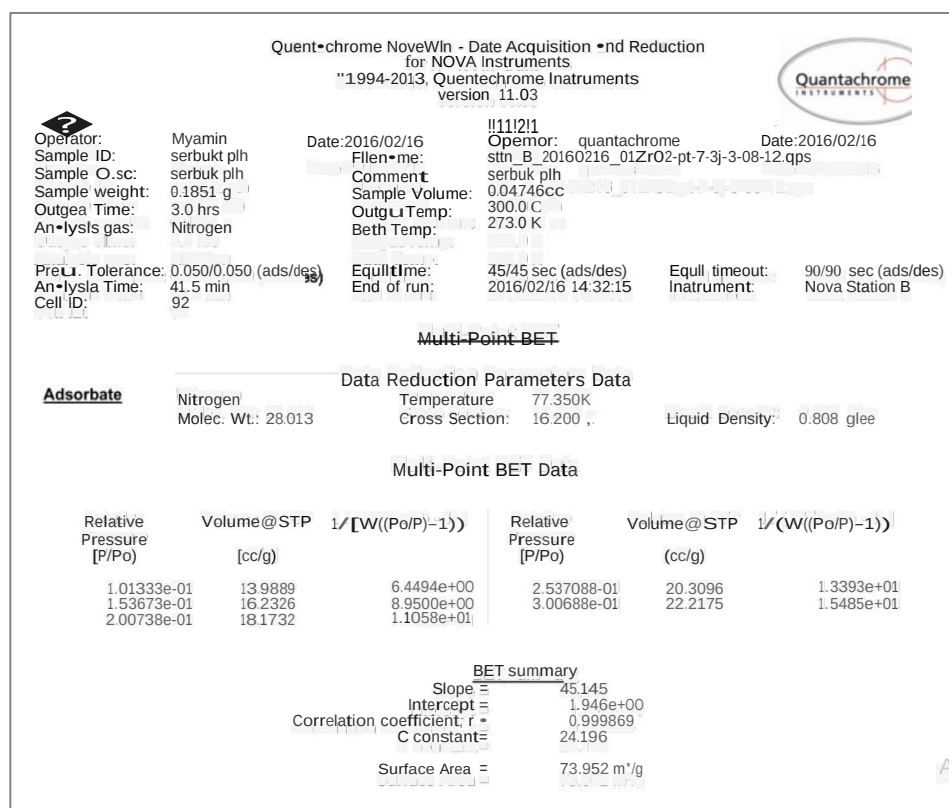


Gambar 2.2 Skema Rancangan Pengambilan Data

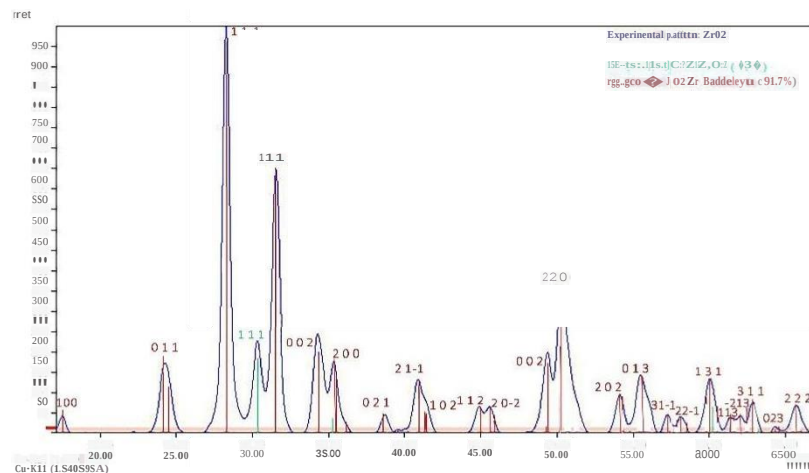
3. Pembahasan

3.1. Hasil Karakterisasi Nanopartikel ZrO₂

Dari hasil Karakterisasi menggunakan SAM (Gambar 3.1) diketahui bahwa luas permukaan atau S_{BET} (surface area) nanopartikel ZrO₂ adalah 73,952 m²/g. Dari luas permukaan ini dapat dihitung diameter nanopartikel ZrO₂ dengan menggunakan metode Brunauer-Emmett-Teller (BET) [6]. Dengan mengetahui nilai massa jenis ZrO₂ (5,68 g/cm³) maka dari hasil perhitungan dengan persamaan BET diketahui diameter rata-rata partikel yaitu 14,285 nm. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa material ZrO₂ berupa nanopartikel karena diameter partikelnya berukuran ≤ 100 nm.



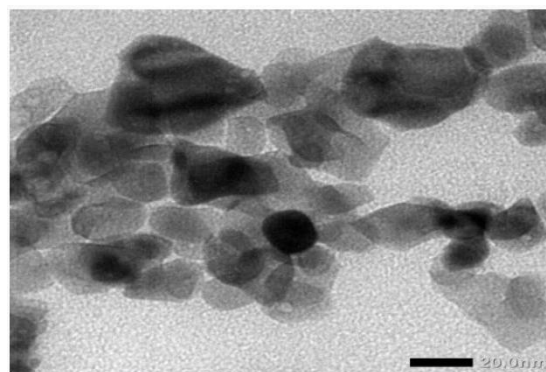
Gambar 3.1 Hasil karakterisasi menggunakan SAM (Surface Area Meter)



Gambar 3.1 Perbandingan antara hasil XRD nanopartikel ZrO_2 yang diteliti dengan referensi kristal ZrO_2 baddeleyit monoklinik dan referensi kristal ZrO_2 kubik

Analisis kuantitatif dari grafik XRD, dapat diketahui dengan software XRD, tetapi untuk analisis menggunakan software XRD tidak bisa dilakukan dalam percobaan kali ini, maka dilakukan analisis tinjauan. Tinjauan yang digunakan adalah database JCPDS 96-900-5834 yang berbentuk kristal monoklinik dan JCPDS 96-152-1754 yang berbentuk kristal kubik. Database tersebut merupakan acuan standar yang digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan konsentrasi dari nanopartikel ZrO_2 . Dengan mengacu pada kedua database tersebut, jika dilihat dari kesamaan posisi puncak 2θ grafik pada Gambar 3.2, maka dapat disimpulkan bahwa hasil dari sintesis berupa fusi kaustik dan sol-gel yang dilakukan penulis merupakan ZrO_2 berbentuk kristal nano, yaitu sebagian besar berbentuk monoklinik, dan sebagiannya lagi berbentuk kubik.

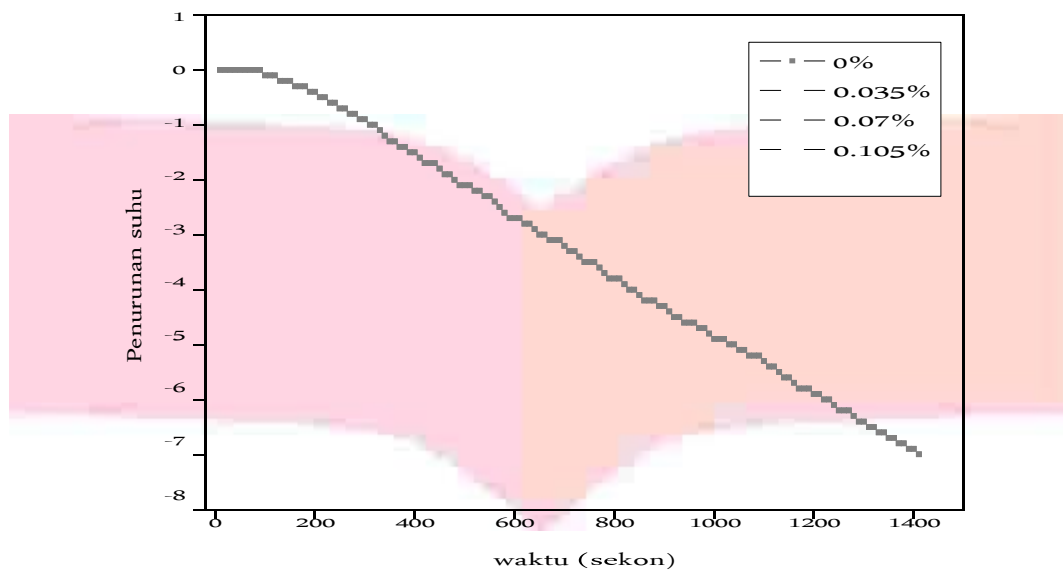
Dari hasil karakterisasi menggunakan TEM pada Gambar 3.3 terlihat bahwa ukuran nanopartikel ZrO_2 berkisar antara 14nm. Selain itu pada Gambar tersebut terdapat adanya *aggregation* atau pengumpulan partikel, daerah ini ditandai dengan warna partikel yang lebih gelap dari partikel lainnya.



Gambar 3.3 Hasil karakterisasi TEM dengan perbesaran Gambar yang berbeda

3.2 Analisis Performansi Mesin Pendingin

Pada penelitian ini proses pengambilan data dilakukan dengan menghitung jumlah waktu yang dibutuhkan oleh mesin pendingin untuk menurunkan suhu air sebesar 7°C . Hal ini diterapkan untuk semua sampel nanofluida ZrO_2 dengan konsentrasi volume yang berbeda.



Gambar 3.4 Grafik penurunan suhu terhadap waktu dengan beberapa konsentrasi

Hasil pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 3.4 bahwa perbedaan konsentrasi mempengaruhi banyaknya waktu yang terpakai untuk menurunkan suhu air sebesar 7 °C. Jumlah waktu yang terpakai jika dengan menambahkan nanopartikel ZrO₂ dapat menurun hingga 6.2% (pada konsentrasi volume 0.105%) dibandingkan dengan hanya menggunakan oli refrigerant R-134a . Hal ini disebabkan oleh berubahnya sifat fisis dari fluida dasar (oli refrigerant R-134a) setelah ditambahkan nanopartikel ZrO₂ yang mengakibatkan konduktivitas thermalnya meningkat.

Tabel 3.1 Data hasil pengukuran pada pengambilan data

Konsentrasi ZrO ₂ -oli R134a	Data	
	Waktu(detik)	Daya terpakai (watt)
I (0%)	1410	80,9
II (0.035%)	1375	77
III (0.07%)	1332,5	75,1
IV(0.105%)	1322,5	74,1

Berdasarkan Tabel 3.1 diatas dapat dilihat bahwa daya listrik dan jumlah waktu yang digunakan untuk setiap konsentrasi nanofluida ZrO₂. Daya listrik yang terdapat pada Tabel merupakan daya listrik yang masuk ke dalam system mesin pendingin dan diukur menggunakan *Wattmeter*, sedangkan jumlah waktu diukur dengan menggunakan stopwatch terhitung sejak mesin dihidupkan hingga suhu pada air yang didinginkan turun sebanyak 7°C

Pada proses pengukuran, selain konsentrasi nanofluida ZrO₂, sistem pendingin untuk semua percobaan dikondisikan identik, termasuk diantaranya jenis refrigerant yang digunakan, tekanan refrigerant, jenis fluida yang didinginkan, dan volume volume fluida yang didinginkan. Hal ini bertujuan supaya besarnya konsentrasi nanofluida ZrO₂ terlihat jelas berpengaruh terhadap performansi mesin pendingin. Percobaan untuk masing-masing konsentrasi nanofluida ZrO₂ dilakukan sebanyak 4-5 kali dengan kondisi yang sama.

Dari data pada Tabel 4.1 dapat dilakukan perhitungan performansi pendinginan untuk setiap percobaan pada masing-masing konsentrasi dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Performansi Pendinginan} = \frac{Q_{\text{pendinginan}}}{W_{\text{listrik}}} \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan :

Performansi = nilai performansi dari mesin pendingin

Q_{out} = Daya termal yang dihasilkan oleh sistem mesin pendingin (Watt)

W_{in} = Daya listrik yang masuk untuk menggerakkan mesin pendingin

Tabel 3.2 Data performansi mesin pendingin dengan variasi konsentrasi

Data Performansi Mesin Pendingin			
I (0%)	II (0.035%)	III (0.07%)	IV (0.105%)
0.389	0.417	0.442	0.448

Pada Tabel 3.2 memperlihatkan hasil perhitungan performansi dari mesin pendingin. Performansi yang terhitung dalam percobaan ini adalah perbandingan antara daya listrik yang masuk ke dalam sistem, dengan daya termal yang keluar dari sistem. Hasil perhitungan performansi pada Tabel 3.2 menunjukkan bahwa penambahan nanofluida ZrO_2 pada oli refrigeran, dapat menaikkan nilai performansi dari mesin pendingin.

3.3 Konduktivitas Termal Nanofluida ZrO_2

Pada penelitian kali ini, besarnya fraksi volume yang digunakan sangat kecil yaitu <1 , maka untuk mengetahui konduktivitas termal nanofluida ZrO_2 dapat dilakukan dengan pendekatan menggunakan persamaan Maxwell [7] :

$$K_{nf} = \frac{K_f + 2K_{ZrO_2} + 2(K_{ZrO_2} - K_f)\phi}{K_f + 2K_{ZrO_2} - 2(K_{ZrO_2} - K_f)\phi} \quad (4.2)$$

Keterangan :

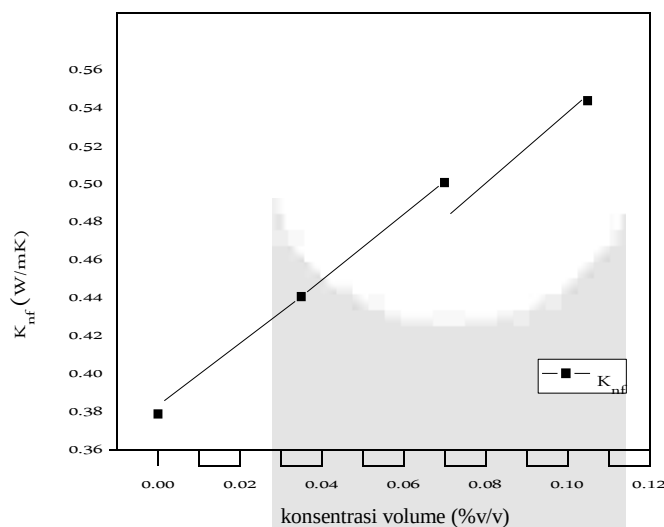
K_{nf} = konduktivitas termal nanofluida

K_{ZrO_2} = konduktivitas ZrO_2 (konsentrasi 90%)

K_f = konduktivitas fluida dasar (oli refrigeran)

ϕ = volume concentration (%)

Hasil perhitungan konduktivitas termal nanofluida ZrO_2 ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Grafik Perhitungan Konduktivitas Termal Nanofluida ZrO_2

Pada Gambar 3.5 dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas termal nanofluida naik, berbanding lurus dengan tiap kenaikan konsentrasinya. Secara berurutan untuk konsentrasi 0%, 0.035%, 0.07%, 0.105% nilai konduktivitas termalnya adalah 0.379 W/mK, 0.417 W/mK, 0.454 W/mK, dan 0.492 W/mK. Kenaikan nilai konduktivitas termal ini disebabkan oleh sifat logam pada ZrO_2 yang ketika dicampurkan dengan fluida (oli refrigeran) akan menaikkan konduktivitas termal fluida jika dibandingkan dengan sebelum dicampurkan nanopartikel ZrO_2 .

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh beberapa simpulan sebagai berikut::

1. Sintesis nanopartikel ZrO_2 telah dilakukan dengan proses fusi kaustik dan Sol-Gel yang menghasilkan nanopartikel berdiameter rata-rata 14,285 nm
2. Berdasarkan hasil karakterisasi dengan XRD, SAM, dan TEM menunjukkan bahwa ZrO_2 merupakan nanopartikel yang berukuran <100 nm dan berbentuk kristal monoklinik dan kristal kubik.
3. Penambahan nanopartikel ZrO_2 dapat meningkatkan performansi dari refrigerator sebesar 15,62% dan menurunkan konsumsi daya listrik sebesar 8,28% pada konsentrasi 0,105% volume nanofluida ZrO_2 dibandingkan dengan performansi dan daya listrik oli R134a pada refrigerator, karena dengan menggunakan nanopartikel dapat mempercepat waktu pendinginan, sehingga jumlah daya yang digunakan menjadi turun dan menaikkan performansi refrigerator.

Daftar Pustaka:

- [1] X. Zhang, H. Gu and M. Fujii, "Effective thermal conductivity and thermal diffusivity of nanofluids containing spherical and cylindrical nanoparticles," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 31, pp. 593-599, 2007.
- [2] S. K. D and R. E. Dr, "Experimental Study on Al_2O_3 -R134a Nano Refrigerant in Refrigeration System," *International Journal of Modern Engineering Research*, vol. 2, no. 5, pp. 3927-3929, 2012.
- [3] V. I. S. Wardhani, "Fluida Nano ZrO_2 sebagai Fluida Pendingin Pada Permukaan Pemanas Pelat Vertikal : Studi Eksperimental," *J. Tek. Reaktor. Nukl.*, vol. 16, pp. 169-177, 2014.
- [4] D. G. Syarif and D. H. Prajitno, "Characteristics of Water- ZrO_2 Nanofluid Made from Solgel Synthesized ZrO_2 Nanoparticle Utilizing Local Zircon," *Journal of Materials Science and Engineering*, vol. 2, pp. 1222-127, 2013.
- [5] S. U. S. Choi, Z. G. Zhang and P. Keblinski, "Nanofluids," *Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 6, pp. 757-773, 2004.
- [6] B. Stephen, T. Edward and E. P.H, "Adsorption of Gases in Multimolecular Layers," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 60, pp. 309-319, 1938.
- [7] Mints et al, "Empirical Correction Finding the Role of Temperature and Particle Size for Nano Fluid (Al_2O_3) Thermal Conductivity enhancement," *Applied Physics Letter*, vol. 15, pp. 153107-1531, 2005.
- [8] K. S. Das, S. U. S. Choi, W. Yu and T. Pradeep, *Nanofluids Science and Technology*, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- [9] W. S. B. Dwandaru, "Aplikasi Nanosains dalam Berbagai Bidang kehidupan : Nanoteknologi," UNY, Yogyakarta, 2012.
- [10] B. R. Fernandez, "Makalah Sintesis Nanopartikel," Universitas Andalas, Padang, 2011.
- [11] P. I. Frank, L. T. Bergman, S. A. Lavine and P. D. Dewitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* 7th edition, Jefferson City: John Wiley and Sons Inc., 2011.
- [12] D. Matthew J. Jr., *Titanium: A Technical Guide* 2nd edition, OH: ASM International, 2000.
- [13] D. J. W. L. H. Missimer, "Cascade refrigerating systems - state of the art," *ASHRAE Journal*, vol. 9, p. 4, 1967.
- [14] The Royal Society, "Nanoscience and Nanotechnologies," Clyvedon Press, Cardiff, 2004.
- [15] D. S. Kumar and D. R. Elansezhian, "Experimental Study on Al_2O_3 -R134a Nano Refrigerant in Refrigeration System," *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, vol. 2, no. 5, pp. 3927-3929, 2012.
- [16] W. F. Stoecker, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Jakarta: Erlangga, 1989.

