

NANOPARTIKEL Al_2O_3 , HASIL *GREEN SYNTHESIS* DAN APLIKASINYA DI MESIN PENDINGIN

Al_2O_3 NANOPARTICLE, A *GREEN SYNTHESIS PRODUCT* AND ITS APPLICATION ON COOLING MACHINES

Winda Mulya¹, Dr. Abrar, S.Si., M.Sc², Dr. H. Dani Gustaman Syarif, M.Eng³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, ³Badan Tenaga Nuklir Nasional Bandung

mulyawindaaa@gmail.com¹, abrarselah@gmail.com², danigus@batan.go.id³

Abstrak

Aluminum oksida (Al_2O_3) atau disebut juga alumina merupakan salah satu material yang mempunyai sifat konduktivitas termal yang relatif tinggi. Pada penelitian ini, bahan baku utama pembuatan alumina adalah aluminium klorida ($AlCl_3$). Nanopartikel Al_2O_3 disintesis dari $AlCl_3$ dengan metode sol-gel yang memanfaatkan asam sitrat dari ekstrak buah nanas. Selanjutnya, Al_2O_3 dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi dan ukuran nanopartikel dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui sifat kristal dari nanopartikel alumina. Hasil karakterisasi menunjukkan ukuran rata-rata nanopartikel adalah 35,1 nm, ukuran kristalit nanopartikel adalah 1,548 nm dan sistem kristal berupa kubik dengan nilai $a = 7,645792$ nm. Setelah karakterisasi, nanopartikel akan diaplikasikan pada mesin pendingin dalam bentuk nanofluida dengan beberapa variasi konsentrasi nanopartikel untuk meningkatkan koefisien kinerja mesin pendingin. Selain melihat pengaruh nanopartikel terhadap koefisien kinerja mesin pendingin, penelitian ini juga akan melihat pengaruh konsentrasi nanopartikel Al_2O_3 terhadap konduktivitas termal dan viskositas nanofluida. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa koefisien kinerja mesin pendingin terus meningkat dari konsentrasi 0 % sampai dengan 0,21 %. Sedangkan pada konsentrasi 0,28 % sampai dengan 0,49 % daya yang dibutuhkan kompresor meningkat sehingga menyebabkan menurunnya koefisien kinerja mesin pendingin. Tetapi, pada konsentrasi 0,49 % koefisien kinerja kembali meningkat karena waktu penurunan suhu di konsentrasi tersebut menjadi sangat cepat, yaitu mencapai 303 detik. Sehingga, koefisien kinerja tertinggi dari penelitian ini berada pada konsentrasi 0,21 % yaitu sebesar 0,437.

Kata Kunci: Alumina, nanopartikel, viskositas, konduktivitas termal, konsentrasi, dan koefisien kinerja.

Abstract

*Aluminium oxide (Al_2O_3), also known as alumina, is one of a relatively high thermal conductivity material. In this research, the main element for creating alumina is aluminium chloride ($AlCl_3$). The Al_2O_3 nanoparticles were synthesized from $AlCl_3$ by sol-gel method, using citric acid from pineapple extract. Subsequently, Al_2O_3 was characterized using *Scanning Electron Microscopy* (SEM) to determine the morphology and the size of nanoparticles and *X-Ray Diffraction* (XRD) to determine the crystalline properties of alumina nanoparticles. The result of characterization showed the average size of nanoparticles was 35.1 nm, the crystalline size of the nanoparticles was 1.548 nm, and the crystal system, which was cubical, with the value of $a = 7,645792$. After characterization, alumina nanoparticles would be applied on a cooling machine in the form of nanofluids with some various concentration of nanoparticles to increase the cooling machine coefficient of performance. In addition to looking at the effect of nanofluids on the cooling machine coefficient of performance, this research will also look at the effect of Al_2O_3 nanoparticle concentration on the thermal conductivity and nanofluids viscosity. The results of this research indicate that the cooling machine coefficient of performance continues to increase from a concentration of 0 % to 0.21 %. Yet, at concentrations of 0.28 % and 0.49 %, the coefficient of performance of the cooling machine had decreased due to the increased power required by the compressor. On the other hand, at a concentration of 0.49 % compressor power was increased but the temperature drop time becomes very fast that reaches 303 seconds. Consequently, at a concentration of 0.49 % the coefficient of performance of the cooling machine becomes higher than the previous concentration. Thus, the highest coefficient of performance of this research is 0.437 at concentration of 0.21 %.*

Keywords: Alumina, nanoparticles, viscosity, thermal conductivity, concentration, and coefficient of performance

1. Pendahuluan

Nanoteknologi adalah ilmu atau teknologi dalam ukuran nanometer atau sepermilyar meter. Nanoteknologi merupakan pemanfaatan sifat-sifat baru yang ada pada molekul maupun struktur yang berukuran nanometer. Pusat perhatian perkembangan nanoteknologi adalah nanopartikel dan nanofiber. Nanopartikel adalah partikel padat dalam ukuran nanometer yang berkisar antara 1-100 nm [1]. Nanopartikel dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan performansi pada sistem pendinginan karena memiliki konduktivitas termal yang tinggi. Peningkatan performansi dilakukan agar energi listrik yang digunakan pada sistem pendinginan menjadi lebih sedikit dan jika performansi dari mesin pendingin tinggi maka performa kerja dari mesin pendingin tersebut semakin efisien. Nanopartikel dapat dibuat dari berbagai bahan, salah satunya alumina (Al_2O_3). Al_2O_3 merupakan material yang sangat penting untuk menghasilkan logam aluminium. Alumina dapat digunakan untuk berbagai aplikasi. Alumina juga memiliki titik lebur yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan yang tahan api. Nanopartikel alumina dapat disintesis dengan berbagai metode, salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode sol-gel. Pada penelitian ini, bubuk nanopartikel alumina disintesis dari bahan baku aluminium klorida (AlCl_3) dengan menggunakan metode sintesis sol-gel yang memanfaatkan asam sitrat yang ada pada kandungan buah nanas. Pemanfaatan asam maupun limbah dari buah-buahan untuk proses sintesis nanopartikel atau *green synthesis* telah dilakukan pada beberapa penelitian sebelumnya. Sebagai contoh, sintesis nanopartikel MgO dengan menggunakan limbah buah jeruk sebagai pengkelat oleh K. Ganapati Rao dkk (2015) dan nanopartikel ZnO dengan menggunakan ekstrak buah lemon sebagai pengkelat oleh Fatemeh Davar dkk (2015) [2, 3]. Penelitian pengaruh nanopartikel alumina terhadap koefisien kinerja mesin pendingin telah dilakukan oleh O.M. Rosadi (2016), yaitu dengan mencampurkan nanopartikel alumina dengan oli kompresor mesin pendingin sehingga menjadi nanofluida [4]. Penelitian tersebut dilakukan dengan metode sol-gel menggunakan glukosa sebagai bahan organik dan menggunakan empat variasi konsentrasi nanopartikel. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa koefisien kinerja mesin pendingin dan konduktivitas termal nanofluida meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi, sedangkan daya yang dibutuhkan mesin pendingin menurun. Namun pada data konsentrasi terakhir dari penelitian tersebut, daya yang dibutuhkan meningkat. Pada penelitian ini, akan dilakukan proses sol-gel dengan menggunakan asam organik dari ekstrak buah nanas sebagai pengkelat. Variasi konsentrasi nanopartikel akan lebih banyak, sehingga dapat diketahui pengaruh konsentrasi nanopartikel yang lebih tinggi terhadap daya yang dibutuhkan mesin pendingin. Pada penelitian ini juga akan melihat pengaruh konsentrasi nanofluida terhadap konduktivitas termal dan viskositas nanofluida.

2. Dasar Teori

2.1 Nanopartikel

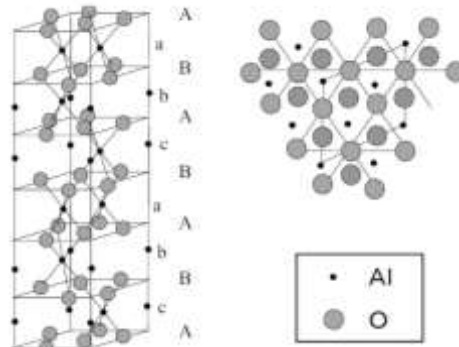
Nanopartikel adalah partikel padat dalam ukuran nanometer yang berkisar antara 1-100 nm. Ditinjau dari jumlah dimensi yang terletak dalam rentang nanometer, material nano diklasifikasikan menjadi beberapa kategori, yaitu: material nano berdimensi nol, satu, dua dan tiga. Nanopartikel itu sendiri dikategorikan dalam material nano berdimensi nol. Material yang berukuran nano biasanya mempunyai sifat kimia dan fisika yang lebih unggul daripada material berukuran besar [1]. Karena ukurannya yang kecil nanopartikel dapat menembus berbagai ruang yang tidak dapat ditembus oleh partikel yang berukuran lebih besar. Nanopartikel memiliki nilai perbandingan antara luas permukaan dan volume yang lebih besar jika dibandingkan dengan partikel sejenis dalam ukuran yang besar sehingga membuat nanopartikel lebih reaktif terhadap molekul lainnya. Selain itu, semakin kecil partikel maka semakin besar perubahan magnetik, optik dan sifat elektrik dari partikel tersebut [5].

2.2 Nanofluida

Nanofluida adalah campuran nanopartikel dengan cairan dasar seperti air dan pelumas baik dalam bentuk partikel logam murni maupun dalam bentuk oksida logam sehingga membentuk suspensi yang memiliki kemampuan termal yang lebih baik. Sedangkan pencampuran nanopartikel dengan refrigeran disebut nanorefrigeran. Nanofluida maupun nanorefrigeran bertujuan untuk meningkatkan kadar pemindahan kalor melalui cara konveksi maupun konduksi, sehingga dapat digunakan sebagai fluida kerja pada alat penukar kalor maupun alat pendingin. Hal tersebut dapat terjadi karena nanopartikel memiliki potensi besar untuk meningkatkan sifat perpindahan panas dibandingkan dengan partikel yang berukuran milimeter maupun mikrometer. Aplikasi nanofluida dalam sistem pendinginan merupakan salah satu pendekatan baru untuk meningkatkan kadar panas yang diserap [5-7].

2.3 Alumina

Aluminium oksida (alumina) adalah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia Al_2O_3 . Secara alami, alumina terdiri dari mineral korundum, dan memiliki bentuk kristal seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur $\alpha-Al_2O_3$ [9].

Tabel 2.1 memperlihatkan sifat-sifat alumina secara rinci meliputi sifat mekanik, termal dan elektrik.

Tabel 2.1 Sifat-sifat Alumina [10].

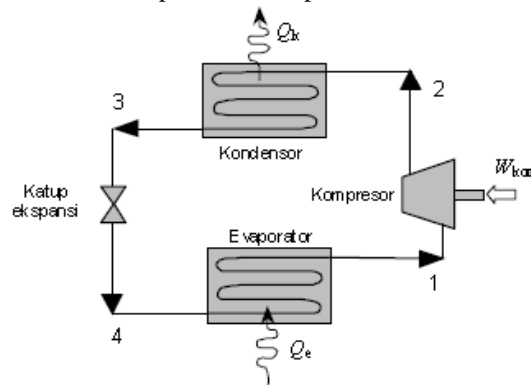
Sifat-sifat	Kondisi	Satuan	Nilai
Sifat Mekanik			
Kepadatan	20 °C	g/cm ³	3,96
Tensile strength	20 °C	Mpa	220
Flexural strength	20 °C	Mpa	410
Modulus elastis	20 °C	GPa	375
Kekerasan	20 °C	kg/mm ²	14
Fracture toughness	20 °C	MPa · cm ^{1/2}	4-5
Porosity	20 °C	%	0
Sifat Termal			
Maksimal temperature	-	°C	1700
Koefisien ekspansi termal	25-300 °C	10 ⁻⁶ /°C	7,8
Koefisien ekspansi termal	25-100 °C	10 ⁻⁶ /°C	8,1
Konduktivitas termal	20 °C	W/mK	28
Sifat Elektrik			
Kekuatan dielektrik	2,5 mm tk	ac-kv/mm	10
Konstanta dielektrik	1 MHz	-	9,7
Resistivitas volum	20 °C	Ω -cm	$>10^{14}$
Resistivitas volume	300 °C	Ω -cm	10^{10}
Resistivitas volume	1000 °C	Ω -cm	10^6
Loss Factor	1 MHz	-	0,009
Dissipation Factor	1 MHz	-	0,0001

2.4 Metode Sol-gel

Metode sol-gel telah digunakan selama bertahun-tahun untuk menghasilkan oksida logam dan bubuk keramik dengan kemurnian dan kehomogenan yang tinggi [11]. Proses sol-gel dapat didefinisikan sebagai proses pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah, dimana dalam proses tersebut terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) membentuk fasa cair kontinyu (gel). Sintesis dengan metode sol-gel biasa dilakukan dengan menggunakan gula atau asam sitrat [4]. Proses sol-gel yang menggunakan asam sitrat sebagai pengkelat disebut metode pechini. Bila dibandingkan dengan metode sol-gel lainnya, pechini memiliki kehomogenan yang lebih baik, zat racun yang rendah, dan biaya yang lebih rendah [12].

2.5 Mesin Pendingin Kompresi Uap

Mesin pendingin berfungsi untuk memindahkan kalor dari daerah yang bertemperatur rendah ke daerah yang bertemperatur lebih tinggi. Perpindahan kalor tersebut tidak terjadi secara spontan, sehingga membutuhkan kerja dari luar agar proses perpindahan kalor tersebut dapat terjadi. Fluida kerja yang digunakan di dalam mesin pendingin adalah refrijeran. Dalam siklus kerjanya refrijeran yang mengalir di dalam mesin pendingin mengalami proses kompresi, kondensasi, ekspansi dan evaporasi.



Gambar 2.2 Siklus sederhana mesin pendingin [13].

Pada Gambar 2.2 terlihat empat komponen utama dari mesin pendingin, yaitu: kompresor, kondensator, katup ekspansi dan evaporator.

2.6 Coefficient of Performance (COP)

Coefficient of Performance (COP) atau koefisien kinerja didefinisikan sebagai perbandingan antara efek perpindahan kalor (kW) yang diinginkan terhadap nilai kerja yang dilakukan kompresor (kW) [14]. Berdasarkan definisinya tersebut, maka secara termodinamika diinginkan suatu nilai koefisien kinerja yang sebesar-besarnya. COP dalam suatu mesin pendingin ada dua, yaitu: COP siklus refrigerasi yang digunakan sebagai pendingin, dan COP siklus pompa kalor yang digunakan sebagai pemanas. Perbedaan persamaannya terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Persamaan koefisien kinerja.

COP (Koefisien Kinerja)	
Siklus Refrigerasi	Siklus Pompa Kalor
$COP_R = \frac{Q_{in}}{W_{siklus}}$	$COP_{PK} = \frac{Q_{out}}{W_{siklus}}$

2.7 Konduktivitas Termal Nanofluida

Konduktivitas termal adalah besaran intensif yang menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan panas. Pada tahun 2010 Duangthongsuk dan Wongwises (2010) meneliti tentang perpindahan kalor dan penurunan tekanan dari nanofluida TiO_2 dan air dibawah kondisi aliran turbulen. Dengan hasil nilai konduktivitas termal nanofluida meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi volume nanopartikel. Kondisi ini terjadi karena nilai konduktivitas termal logam lebih tinggi daripada nonlogam, sehingga nilai konduktivitas termal fluida yang mengandung suspensi partikel logam padat lebih besar daripada fluida perpindahan panas secara konvensional [15]. Persamaan dibawah ini adalah salah satu persamaan pendekatan yang digunakan untuk menghitung konduktivitas dari nanofluida [7]:

$$k_{eff} = \frac{k_p + 2k_{bf} + 2\phi(k_p - k_{bf})}{k_p + 2k_{bf} - \phi(k_p - k_{bf})} k_{bf} \quad (1)$$

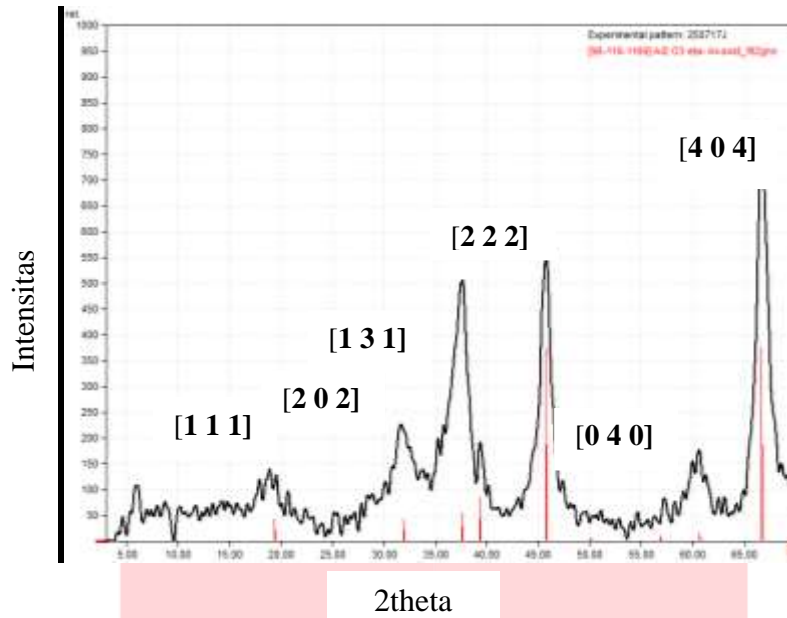
2.8 Karakterisasi Nanopartikel

Setelah nanopartikel alumina dihasilkan, nanopartikel tersebut dikarakterisasi dengan menggunakan alat XRD dan SEM. XRD (*X-ray Diffraction*) digunakan untuk mengetahui kristalinitas dari nanopartikel alumina. SEM (*Scanning Electron Microscopy*) digunakan untuk mengetahui morfologi dan ukuran dari nanopartikel alumina yang dihasilkan.

3. Pembahasan

3.1 Hasil Karakterisasi Nanopartikel Al_2O_3

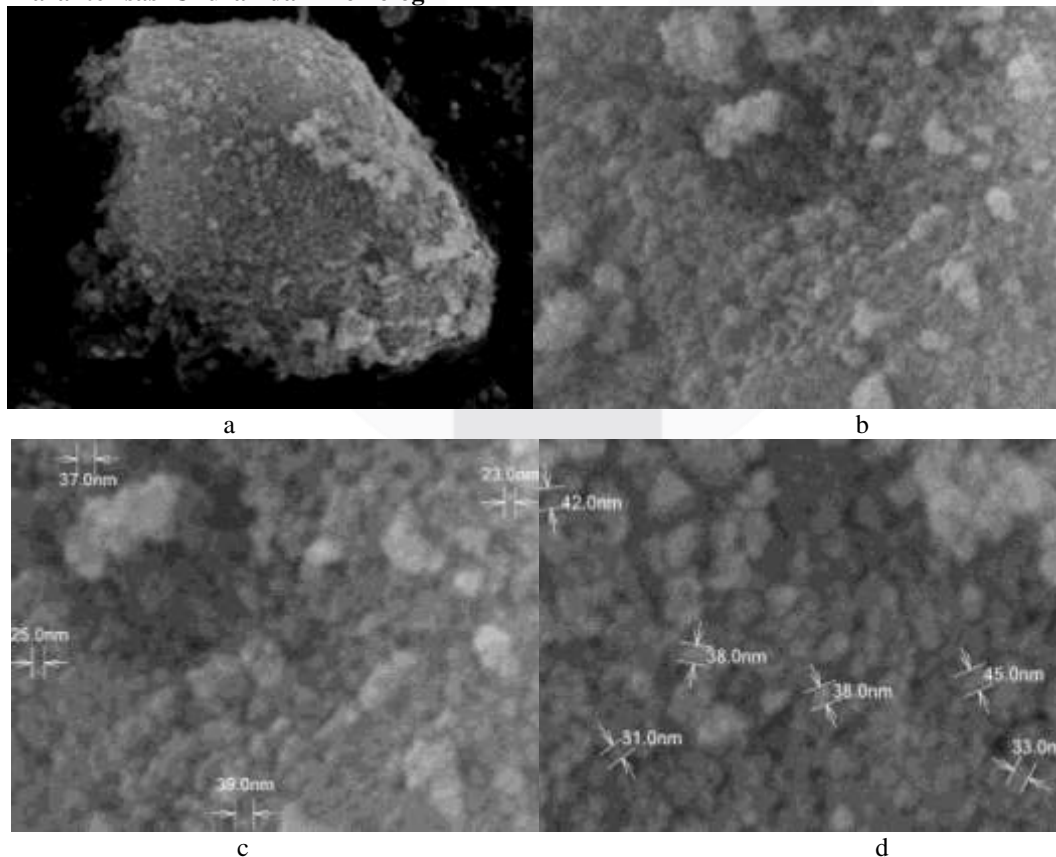
3.1.1 Hasil Karakterisasi Sifat Kristal



Gambar 3.1 Perbandingan hasil XRD dengan database JCPDS.

Analisis XRD dapat diketahui dengan menggunakan software XRD MATCH! dan mengaju pada database JCPDS 96-110-1169 seperti terlihat pada Gambar 3.1 dengan grafik hitam hasil karakterisasi nanopartikel alumina, dan grafik merah merupakan database JCPDS. Nilai 2θ tertinggi yang diambil terdapat pada titik: 66,86°, 45,68°, 39,32°, 37,69°, 31,83°, dan 19,44°. 2θ merupakan titik puncak nanopartikel Al₂O₃. Dengan mengaju pada data tersebut dapat disimpulkan bahwa nanopartikel alumina hasil sintesis sol-gel merupakan material Al₂O₃. Selain itu, dengan menggunakan metode *debye-scherrer* didapat bahwa ukuran kristalit dari nanopartikel tersebut sebesar 1,548 nm dan sistem kristal berupa kubik dengan nilai a sebesar 7,645792 nm.

3.1.2 Karakterisasi Ukuran dan Morfologi

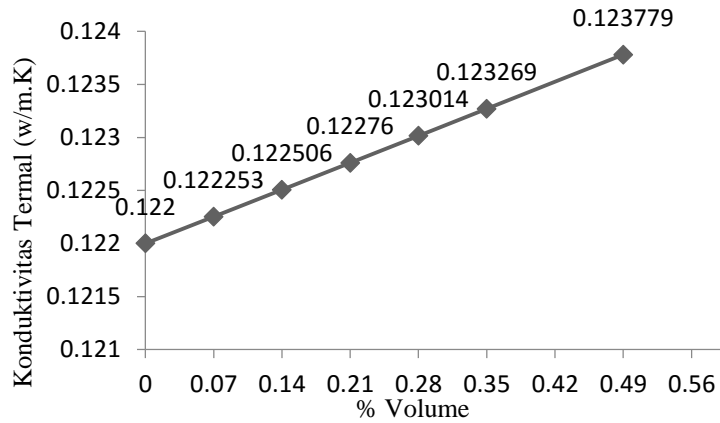


Gambar 3.2 Morfologi nanopartikel Al₂O₃ pada pembesaran yang berbeda: (a) 20000 kali; (b) 50000 kali; (c) 80000 kali; (d) 80000 kali dengan daerah yang berbeda.

Gambar 3.2 menunjukkan hasil karakterisasi nanopartikel alumina dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan empat jenis pembesaran. Pada Gambar 3.2 (c) dan (d) terlihat beberapa ukuran partikel nano yang dihasilkan dengan rentang 23-45 nm. Sehingga, dari hasil karakterisasi yang dilakukan tersebut dapat diketahui rata-rata partikel alumina yang dihasilkan berukuran 35,1 nm.

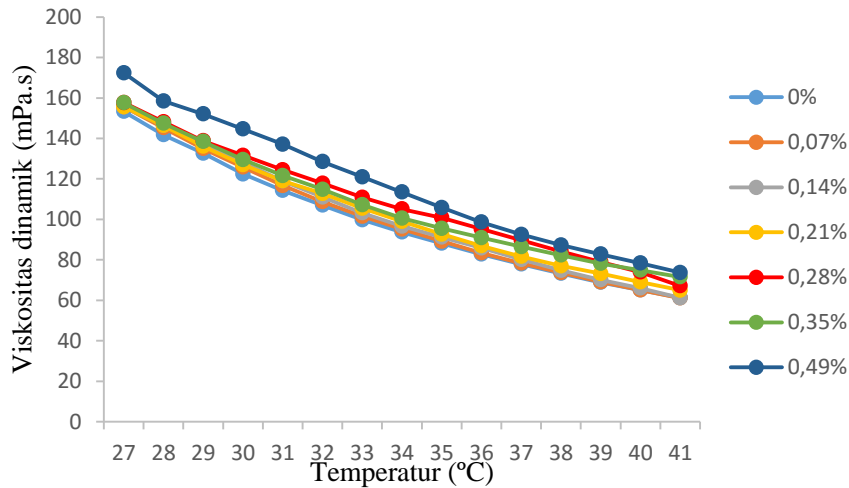
3.2 Hasil Karakterisasi Nanofluida

3.2.1 Konduktivitas Termal



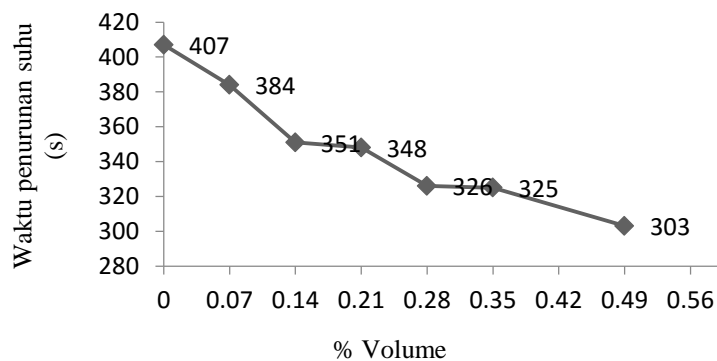
Gambar 3.3 Grafik konduktivitas nanofluida terhadap konsentrasi nanopartikel.

3.2.2 Viskositas

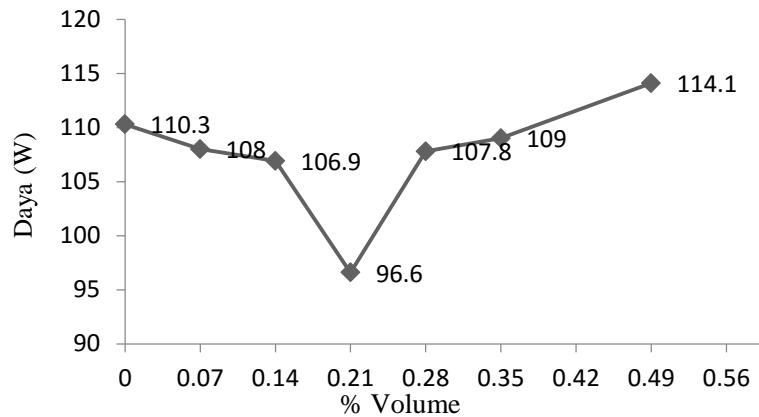


Gambar 3.4 Grafik viskositas nanofluida.

3.3 Pengujian Pada Mesin Pendingin

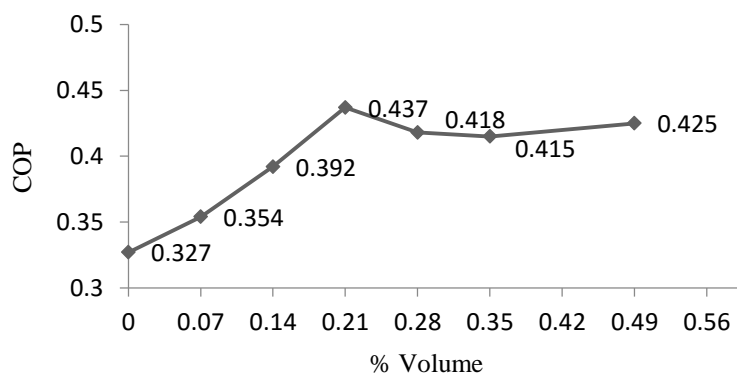


Gambar 3.5 Grafik waktu penurunan suhu terhadap konsentrasi nanopartikel.



Gambar 3.5 Grafik daya kompresor terhadap konsentrasi nanopartikel.

3.3.1 Hasil Koefisien Kinerja Mesin Pendingin



Gambar 3.7 Grafik koefisien kinerja mesin pendingin.

Dari Gambar 3.7 terlihat bahwa koefisien kinerja mesin pendingin meningkat dari konsentrasi 0 % sampai 0,21 %. Daya yang dibutuhkan kompresor menjadi lebih banyak pada konsentrasi 0,28 % dan 0,35 %, sehingga koefisien kinerja pada konsentrasi tersebut menurun. Sedangkan pada konsentrasi 0,49 % daya kompresor juga meningkat, tetapi waktu penurunan suhu dengan rentang 7 °C menjadi sangat cepat yaitu mencapai 303 detik. Oleh karena itu pada konsentrasi 0,49 % koefisien kinerja mesin pendingin menjadi lebih tinggi dari konsentrasi sebelumnya. Koefisien kinerja maksimal mesin pendingin berada pada konsentrasi 0,21 %. Titik jenuh nanopartikel berada pada konsentrasi 0,28 %. Hal ini disebabkan karena pada konsentrasi 0,28 % dan seterusnya, nanofluida lebih cepat mengendap daripada konsentrasi-konsentrasi sebelumnya yang lebih stabil.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini, telah dilakukan proses sintesis nanopartikel Al_2O_3 (alumina) dengan metode sol-gel menggunakan ekstrak buah nanas sebagai pengkelat. Nanopartikel yang dihasilkan tersebut dikarakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Dari hasil karakterisasi, dapat diketahui bahwa ukuran rata-rata nanopartikel alumina adalah 35,1 nm, ukuran kristalit nanopartikel sebesar 15,48 nm dan sistem kristal berupa kubik dengan nilai a sebesar 7,645792 nm. Nanopartikel alumina dicampurkan dengan oli kompresor dengan beberapa konsentrasi nanopartikel. Hasilnya, konduktivitas termal nanofluida meningkat seiring meningkatnya konsentrasi nanopartikel. Pada saat nanofluida tersebut diaplikasikan pada mesin pendingin, waktu penurunan suhu menjadi lebih cepat seiring meningkatnya konsentrasi nanopartikel. Daya minimum dan maksimum yang dibutuhkan kompresor berada pada konsentrasi 0,21 % dan 0,49 %. Titik jenuh nanopartikel berada pada konsentrasi 0,28 %. Akibatnya, apabila konsentrasi nanopartikel Al_2O_3 ditambah, tidak akan memberikan pengaruh terhadap koefisien kinerja. Koefisien kinerja mesin pendingin minimum berada pada konsentrasi 0 % dan koefisien kinerja maksimum berada pada konsentrasi 0,21 % yaitu sebesar 0,437.

5. Referensi

- [1] V. Pokropivny, R. Lohmus, I. Hussainova, A. Pokropivny, and S. Vlassov, *Introduction to Nanomaterials*. 2009.

- [2] K. G. Rao, C. H. Ashok, K. V. Rao, C. H. S. Chakra, and A. Akshaykranth, "Eco-Friendly Synthesis of MgO Nanoparticles from Orange Fruit Waste," vol. 2, no. 3, pp. 1–6, 2015.
- [3] F. Davar, A. Majedi, and A. Mirzaei, "Green Synthesis of ZnO Nanoparticles and Its Application in the Degradation of Some Dyes," vol. 1746, pp. 1739–1746, 2015.
- [4] O. M. Rosadi, *Al₂O₃ Nanoparticles synthesis using sol-gel process to improve cooling engine performance*. Bandung: Telkom University, 2016.
- [5] L. Williams and D. W. Adams, *Nanotechnology Demystified*. McGraw-Hill, 2006.
- [6] W. N. Septiadi, N. Putra, and R. Saleh, "Karakterisasi Konduktivitas Termal Nanofluida Oksida Berbasis Fluida Dasar H₂O," *Energi dan Manufaktur*, vol. 8, pp. 111–230, 2015.
- [7] P. Sivashanmugam, "Application of Nanofluids in Heat Transfer," vol. 1, pp. 411–441, 2012.
- [8] M. hazwan syafiq bin Harun, *Analysis of refrigeration system working with nanolubricant*. Universiti Malaysia Pahang, 2012.
- [9] T. Shirai, H. Watanabe, M. Fuji, and M. Takahashi, "Structural Properties and Surface Characteristics on Aluminum Oxide Powders," vol. 9, pp. 23–31, 2009.
- [10] K. Davis, "Material Review : Alumina (Al₂O₃)," pp. 109–114, 2010.
- [11] B. S. Murty, P. Shankar, B. Raj, B. B. Rath, and J. Murday, *Textbook of Nanoscience and Nanotechnology*. Bangalore: Springer, 2012.
- [12] T. Zaki, K. I. Kabel, and H. Hassan, "Using modified Pechini method to synthesize a -Al₂O₃ nanoparticles of high surface area," *Ceram. Int.*, vol. 38, no. 6, pp. 4861–4866, 2012.
- [13] A. Aziz, "PERFORMANSI MESIN REFRIGERASI KOMPRESI UAP TERHADAP MASSA REFRIGERAN OPTIMUM MENGGUNAKAN REFRIGERAN HIDROKARBON," vol. 2, no. 1, 2005.
- [14] M. J. Moran and H. N. Shapiro, *Fundamentals of engineering Thermodynamics 4th edition*, 4th ed. Jakarta: Erlangga, 2004.
- [15] F. Johny, "Karakteristik konduktivitas termal suspensi partikel submikron seng oksida yang disintesis menggunakan Planetary Ball Mill," 2012.