

SINTESIS Al_2O_3 NANOPARTIKEL DARI BAHAN BIJIH BAUKSIT UNTUK APLIKASI PADA MODEL RADIATOR

(Al_2O_3 NANOPARTICLE SYNTHESIS FROM BAUXITE ORE FOR RADIATOR MODEL APPLICATION)

Devi Silfia Istiqomah¹, Muhamad Ramdhan Kirom², Abrar³, Dani Gustaman Syarif⁴

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

⁴Pusat Teknologi Nuklir Material dan Radiometri BATAN Bandung

¹nsilfiadevi@gmail.com, ²mjakasantang@gmail.com, ³rabrarselah@gmail.com,

⁴danigustamansyarief@gmail.com

ABSTRAK

Nanofluida mempunyai potensi untuk menggantikan fluida pendingin konvensional. Penelitian ini membahas mengenai investigasi nanofluida Air- Al_2O_3 dengan menggunakan model radiator. Al_2O_3 nanopartikel diperoleh dari proses bayer dan sol-gel. Bahan alam bijih bauksit diekstraksi hingga menghasilkan senyawa Al_2O_3 . Al_2O_3 ditambah sukrosa, dipanaskan, kemudian dikalsinasi sehingga diperoleh Al_2O_3 nanopartikel berukuran 6,31 nm dengan menggunakan metode karakterisasi *Surface Area Meter*. Al_2O_3 nanopartikel didispersikan dengan air dengan konsentrasi 0,03 % volume, 0,08% volume dan 0,13% volume per 300 ml air sehingga diperoleh nanofluida Air- Al_2O_3 yang kemudian diaplikasikan pada model radiator. Hasil yang didapatkan pada penelitian yaitu makin besar konsentrasi Al_2O_3 nanopartikel yang dimasukkan, makin besar penurunan suhu yang terjadi. Penurunan suhu terbesar sebesar 3°C pada konsentrasi Al_2O_3 nanopartikel 0,13% volume. Kapasitas panas nanofluida menurun seiring ditambahkan konsentrasi nanopartikel Al_2O_3 , sementara nilai laju perpindahan kalor meningkat seiring dengan kenaikan selisih suhu fluida sebelum dan sesudah didinginkan dengan nilai laju perpindahan kalor tertinggi terjadi pada nanofluida Air- Al_2O_3 0,13 % volume yaitu sebesar 70,15 J/s.

Kata kunci: Al_2O_3 nanopartikel, nanofluida Air- Al_2O_3 , model radiator, koefisiensi kerja

ABSTRACT

Nanofluids has potential to replace the conventional cooling fluid. This study examines on investigation of nanofluids water- Al_2O_3 by using radiator model. Al_2O_3 nanoparticles are obtained by process of bayer and sol-gel. Natural material of bauxite ore is extracted to produce compound Al_2O_3 . Al_2O_3 is added sucrose, heated, then calcined to obtain Al_2O_3 nanoparticles sized 6,31 nm by using characterization method *Surface Area Meter*. Al_2O_3 nanoparticles are dispersed by water with a concentration of 0.03% volume, 0,08% volume and 0.13% volume per 300-ml water to obtain nanofluids water- Al_2O_3 applied to the radiator model. The result of this study is the greater the concentration of Al_2O_3 nanoparticles are included, the greater the temperature drop occurs. The largest temperature drop around 3°C at a concentration of Al_2O_3 nanoparticles 0,13% volume. The heat capacity of Nanofluid decreases as the concentration of nanoparticles is added Al_2O_3 , while the rate value of heat transfer increase as increase in the difference in temperature of the fluid before and after cooled to the rate value of heat transfer is highest in nanofluids water- Al_2O_3 0.13 % by volume in the amount of 70.15 J / s.

Keywords: Al_2O_3 nanoparticles, nanofluids water- Al_2O_3 , the radiator model, coefficient of performance

1. Pendahuluan

Bauksit merupakan hasil tambang Indonesia. Sumber daya dan cadangan bauksit Indonesia terdapat di Provinsi Kepulauan Riau, Provinsi Bangka Belitung dan Provinsi Kalimantan Barat [1]. Bauksit adalah bahan yang heterogen, yang memiliki beberapa kandungan mineral seperti Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 dan H_2O .

Kandungan mineral paling besar yang terdapat pada bauksit yaitu Al_2O_3 atau aluminium oksida sebesar 45-65% [1].

Aluminium Oksida (Alumina; Al_2O_3) merupakan senyawa yang terbentuk dari aluminium dan oksigen. Al_2O_3 memiliki sifat termal diantaranya dapat meleleh pada yang tinggi, yaitu 2040°C . Sifat lain dari Al_2O_3 yaitu tahan terhadap korosi [2]. Al_2O_3 sering digunakan untuk beberapa kebutuhan industri diantaranya produksi aluminium, IC *package*, mata perkakas (*tool bits*), *seal* pompa, komponen-komponen mekanikal, komponen lampu dan media penyimpanan magnetik [1].

Studi manipulasi material pada skala atom dan molekul disebut dengan nanoteknologi. Nanoteknologi merupakan ilmu rekayasa material yang mempelajari segala sesuatu yang berkaitan dengan material berukuran nanometer (kurang dari 100 nm) [3]. Material dengan ukuran nano mempunyai sifat-sifat yang berbeda dari aslinya. Karakteristik spesifikasi nanopartikel bergantung kepada ukuran, distribusi, morfologi dan fasa dari nanopartikel tersebut [4], sehingga nanopartikel dapat digunakan untuk berbagai aplikasi. Aplikasi nanopartikel yang telah diterapkan diantaranya aplikasi pada bidang kesehatan, ukuran nanopartikel yang sangat kecil dapat meningkatkan kualitas penghantaran senyawa obat [5]. Aplikasi nanopartikel lainnya yang dapat dikembangkan yaitu dengan mendispersikan nanopartikel dengan fluida dasar atau bisa disebut dengan nanofluida. Nanofluida dapat diaplikasikan pada berbagai bidang, salah satunya pada bidang otomotif, yaitu pada radiator untuk mendinginkan mesin agar tidak terjadi *overheat*. Metode yang cukup banyak dikembangkan untuk mengatasi *overheat* pada mesin adalah menggunakan cairan radiator yang ada di pasaran dan meningkatkan luas permukaan kipas radiator untuk membantu pendinginan [6]. Kedua metode ini masih memiliki keterbatasan karena memerlukan biaya yang tinggi dan bidang kerja yang besar. Nanofluida merupakan jenis baru dari suatu penelitian nanoteknologi yang memiliki karakteristik kinerja termal yang berbeda dengan fluida pendingin murni pada umumnya [7]. Nanofluida diharapkan memiliki kinerja termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan fluida perpindahan panas konvensional [8].

Salah satu fluida pendingin yang berpotensi diaplikasikan pada radiator adalah nanofluida Air- Al_2O_3 . Pada penelitian ini nanofluida akan dibuat dari bahan alam yaitu bijih bauksit. Bijih bauksit diekstraksi melalui proses bayer dan selanjutnya disintesis melalui proses sol-gel sehingga menghasilkan Al_2O_3 berukuran nanometer atau bisa disebut dengan Al_2O_3 nanopartikel. Sintesis Al_2O_3 nanopartikel dari bahan alam bijih bauksit dalam rangka memperoleh nilai tambah yang lebih tinggi dari bijih bauksit.

Untuk menguji apakah nanofluida Air- Al_2O_3 mempunyai pengaruh terhadap perpindahan panas radiator, maka dilakukan investigasi nanofluida Air- Al_2O_3 yang dibuat dengan proses bayer dan sol-gel dengan menggunakan model radiator.

2. Dasar Teori

2.1 Nanopartikel

Nanopartikel merupakan suatu partikel yang berada pada skala ukuran 1-100 nm [7]. Suatu nanopartikel merupakan komponen yang paling mendasar dalam pembuatan struktur nano. Struktur nano lebih kecil dari benda yang dijelaskan oleh Newton tentang gerak, tetapi lebih besar dari pada atom yang diatur oleh mekanika kuantum [7].

2.3 Nanofluida

Nanofluida merupakan campuran suatu cairan (fluida dasar) dengan partikel yang berukuran 1-100 nm (nanopartikel) [6]. Partikel dicampurkan ke dalam fluida dasar, sehingga akan terbentuk suatu karakteristik fluida baru [9]. Istilah nanofluida pertama kali dikemukakan oleh Choi pada tahun 1995 dari Laboratorium Nasiphan Argonne, Amerika Serikat [5]. Aplikasi nanofluida salah satunya dikembangkan untuk memperbaiki karakteristik fluida pada suatu sistem pendinginan. Karakteristik nanofluida ini meliputi konduktivitas termal, viskositas dan densitas nanofluida.

2.3 Aluminium Oksida (Al_2O_3)

Aluminium oksida atau yang lebih dikenal dengan alumina atau korundum adalah senyawa yang terbentuk dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia Al_2O_3 . Aluminium oksida terdapat di alam sebagai korundum, merupakan suatu zat kristal yang sangat keras yang biasanya digunakan sebagai mengampelas [8].

Dari perbedaan struktur kristal, terdapat banyak struktur Al_2O_3 (α , β , χ , η , δ , θ , γ , ρ), α - Al_2O_3 mempunyai struktur paling stabil diantara senyawa yang terbentuk dari aluminium dan oksigen [9]. Al_2O_3 yang telah melalui proses ekstraksi akan menghasilkan aluminium murni yang nantinya akan digunakan sebagai bahan industri, diantaranya pembuatan keramik, logam dan metalurgi.

Al_2O_3 dengan kemurnian yang tinggi mempunyai massa jenis $3,75 \text{ gr/cm}^3$ - $3,95 \text{ gr/cm}^3$ [2]. Al_2O_3 merupakan material keramik nonsilikat, mempunyai ketahanan listrik yang tinggi, sehingga alumina dapat digunakan sebagai penghambat (insulator) listrik dan panas yang baik [1]. Al_2O_3 meleleh pada suhu 2040°C dan dapat mempertahankan kekuatannya pada suhu 1500°C sampai 1900°C [2]. Sifat lain dari Al_2O_3 adalah tahan terhadap korosi. Sebagai salah satu jenis keramik, Al_2O_3 mempunyai konduktivitas termal yang cukup tinggi yaitu $40 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ [10].

Strukturinya keras, sehingga dapat digunakan sebagai komponen alat pemotong. Pada aluminium, Al_2O_3 mempunyai peranan melindungi aluminium dari proses korosi, karena saat aluminium berinteraksi dengan oksigen di udara akan membentuk senyawa Al_2O_3 , dimana senyawa tersebut membentuk sebuah lapisan tipis yang pada akhirnya akan melindungi aluminium dari korosi.

3. Pembahasan

3.1 Sintesis Al_2O_3 Nanopartikel

Proses Bayer

Proses bayer yaitu mengekstraksi bijih bauksit hingga menghasilkan senyawa Al_2O_3 . Proses bayer ditemukan oleh seorang ahli bernama Karl Bayer pada tahun 1888. Gambar 3.1 menunjukkan proses bayer secara keseluruhan.



Gambar 3.1 Proses bayer.

Bahan dasar bijih bauksit dihaluskan dan dicampurkan dengan NaOH dengan tujuan untuk mengikat SiO_2 yang terdapat pada bijih bauksit. Pemanasan dilakukan selama 90 menit agar unsur SiO_2 pada bauksit dapat terbuang. Pengendapan dilakukan agar kandungan Fe_2O_3 pada larutan suspensi dapat mengendap, selanjutnya dilakukan penyaringan untuk membuang Fe_2O_3 yang terdapat pada larutan. Proses evaporasi merupakan pemanasan kembali larutan pada suhu 200°C kemudian ditambahkan larutan HCl untuk menurunkan pH sampel. Penurunan pH dilihat secara kuantitatif, dimana sampel berubah warna menjadi cairan putih kemerahan. Sampel dicuci menggunakan aquadest kemudian dikeringkan untuk menghilangkan kandungan garam dalam sampel sampai menjadi padatan AlOOH. AlOOH merupakan senyawa yang terdiri dari Al_2O_3 dan H_2O . Senyawa AlOOH inilah yang nantinya akan diproses ke dalam proses sol-gel untuk mendapatkan nanopartikel Al_2O_3 .

Proses Sol-gel

Proses sol-gel dimulai dengan melarutkan AlOOH dan sukrosa dengan aquadest. Semua bahan campuran hingga terbentuk larutan koloid. Larutan koloid tersebut dipanaskan pada suhu 150°C selama 30 menit sampai berubah fasa menjadi gel berwarna coklat. Kemudian dipanaskan kembali pada suhu 250°C sampai 400°C hingga gel tidak mengembang lagi dan berubah warna menjadi hitam pekat. Gel berwarna hitam pekat tersebut dipanaskan kembali pada suhu 500°C selama satu jam hingga gel membentuk serbuk putih dengan campuran gel hitam.

Tahapan terakhir dari proses sol-gel yaitu kalsinasi pada suhu 900°C selama tiga jam hingga menjadi serbuk putih Al₂O₃.

3.2 Karakterisasi Al₂O₃ Nanopartikel

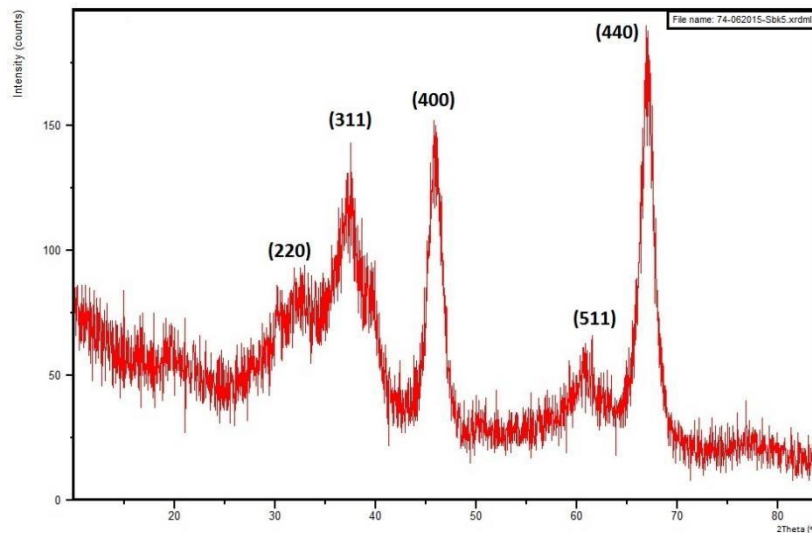
X-Ray Diffraction

Salah satu parameter yang menunjukkan keberhasilan sintesis nanopartikel adalah terbentuknya struktur kristal kubus Al₂O₃ dengan puncak-puncak difraksi 2θ dan bidang hkl sesuai dengan standar acuan struktur kristal Al₂O₃ yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 [11].

Tabel 3.1 Database No. 29-0063 JCPDS-International Centre for Diffraction Data for γ-Al₂O₃

No.	2Theta (°)	hkl
1.	31,962	220
2.	37,635	311
3.	45,827	400
4.	60,511	511
5.	66,822	440

Pada penelitian ini, dilakukan uji karakterisasi struktur kristal dengan metode *powder diffraction* pada Al₂O₃ hasil dari proses bayer dan sol-gel. Profil puncak difraksi yang diamati ditunjukkan ada Gambar 3.2.



Gambar 3. 1 XRD material Al₂O₃ hasil sintesis.

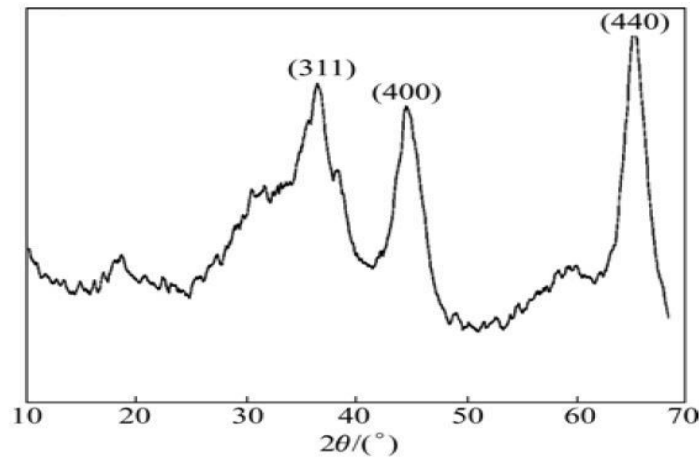
Dari Gambar 3.2 dapat diketahui indeks miller bidang kisi yang menghasilkan puncak-puncak difraksi ditunjukkan pada Tabel 3.2. *Full Width at Half Maximum* (FWHM) atau intensitas puncak dengan difraksi puncak yang tinggi dan bersudut kecil menunjukkan bahwa serbuk Al₂O₃ yang telah disintesis mempunyai struktur kristal.

Tabel 3. 1 Puncak difraksi sinar-X dan sudut 2θ.

No.	2Theta (2θ)	hkl
1.	32	220
2.	38	311
3.	46	400
4.	61	511
5.	67	440

Dari hasil uji karakterisasi kristal didapatkan kesesuaian karakterisasi Al₂O₃ yang dibuat dengan *database* No. 29-0063 JCPDS-International Centre for Diffraction Data untuk γ-Al₂O₃ (Tabel 3.1). Hasil tinjauan tersebut dapat disimpulkan bahwa sampel yang dibuat adalah γ-Al₂O₃. Hasil ini diperkuat dengan penelitian sebelumnya mengenai sintesis γ-Al₂O₃ dengan kemurnian yang tinggi yang dilakukan oleh YI Jian-hong tahun 2009 [12]

dimana terdapat kesesuaian antara pola difraksi yang diamati dengan pola difraksi Al_2O_3 hasil penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 2 Kurva XRD Al_2O_3 dari penelitian sebelumnya [24].

Surface Area Meter

Setelah mendapatkan hasil karakterisasi struktur partikel Al_2O_3 , karakterisasi selanjutnya yaitu karakterisasi ukuran partikel Al_2O_3 . Serbuk Al_2O_3 dikarakterisasi menggunakan Instrument Quantachrome Novawin Versi 11.03. Gambar 4.4 memperlihatkan hasil pengukuran *Surface Area Meter* Al_2O_3 , dari hasil *Surface Area Meter* tersebut diperoleh luas permukaan spesifik Al_2O_3 yaitu 240,624 m^2/gram . Diketahui massa jenis Al_2O_3 yaitu 3,95 gram/cm^3 , dengan menggunakan persamaan (2.4) maka diperoleh diameter rata-rata partikel Al_2O_3 adalah 6.31 nm. Karena ukuran partikel $\text{Al}_2\text{O}_3 < 100$ nm, maka dapat dipastikan bahwa partikel Al_2O_3 hasil sintesis merupakan partikel berukuran nano, sehingga dapat dikatakan bahwa Al_2O_3 yang disintesis adalah Al_2O_3 nanopartikel.

3.3 Nanofluida Air- Al_2O_3

Setelah mendapatkan hasil karakterisasi Al_2O_3 nanopartikel berupa kandungan dan ukuran partikel, dilakukan proses *sonication* di dalam *ultrasonic bath* untuk pencampuran nanopartikel Al_2O_3 dengan fluida pendingin radiator. Fluida pendingin yang dipakai adalah air. *Sonocation* dilakukan selama 2 jam agar nanopartikel terdispersi merata dan meminimalisir terjadinya aglomerasi. Kemudian pH nanofluida Al_2O_3 diukur dan disamakan nilai pHnya pada rata-rata 8,65 pH hal ini untuk menghindari efek penurunan suhu karena faktor. pH tersebut bersifat basa sehingga menghindari terjadinya korosi pada pengujian model radiator.

Untuk membuktikan apakah nanofluida Al_2O_3 benar-benar terdispersi merata atau tidak, maka dilakukan pengujian yaitu nanofluida Al_2O_3 dibiarkan selama dua hari untuk melihat adanya endapan setelah proses *sonication* Gambar 3.4 menunjukkan perbandingan nanofluida sebelum dan setelah dibiarkan selama dua hari. Pada gambar 3.4 menunjukkan nanofluida Al_2O_3 tidak langsung mengendap setelah dibiarkan selama dua hari. Hal ini membuktikan bahwa nanofluida Al_2O_3 terdispersi merata.

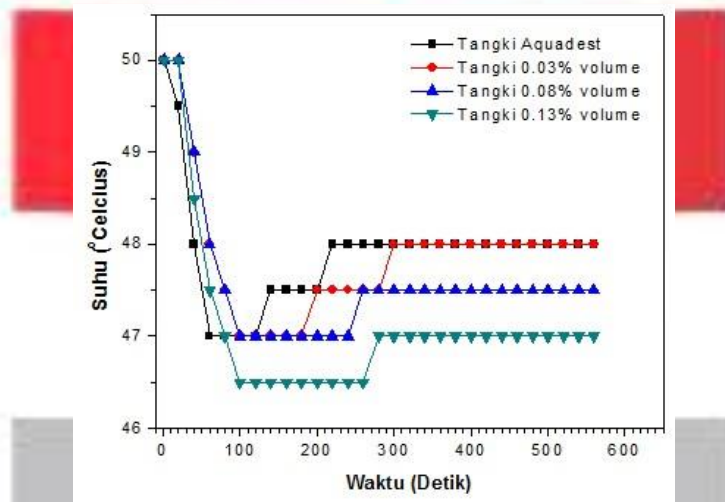


Gambar 3.4 Sedimentasi nanofluida Air- Al_2O_3 .

Jika ukuran partikel sangat kecil, maka luas permukaan partikel tersebut makin besar. Karena ukuran nanopartikel Al₂O₃ sangat kecil yaitu 6,3127 nm, menyebabkan luas spesifik nanopartikel Al₂O₃ menjadi sangat besar. Luas permukaan spesifik nanopartikel Al₂O₃ inilah yang menyebabkan kontak antara permukaan nanopartikel Al₂O₃ dengan aquadest menjadi sangat besar pula, sehingga proses pengendapan nanofluida Al₂O₃ menjadi lambat.

3.3 Aplikasi Pada Model radiator

Pengujian nanofluida Air-Al₂O₃ dilakukan pada model radiator. Terdapat dua buah tangki penampungan. Tangki pertama untuk menampung air yang akan didinginkan, pada tangki ini suhu awal air diatur pada 50°C. Tangki kedua atau bisa disebut reservoir yaitu menampung fluida yang akan mendinginkan air pada tangki pertama. Fluida pada reservoir akan divariasikan antara air dengan nanofluida Air-Al₂O₃ untuk melihat pengaruh penggunaan berbagai konsentrasi nanofluida Air-Al₂O₃ pada proses perpindahan panas model radiator. Suhu awal reservoir diatur pada 24,5°C.



Gambar 3.5 Perubahan suhu pada tangki.

Gambar 3.5 menunjukkan perubahan suhu air pada tangki akibat didinginkan oleh fluida pendinginan tanpa dan menggunakan nanofluida Air-Al₂O₃. Suhu air pada tangki diatur sama pada setiap kali percobaan per konsentrasi yaitu 50°C. Penurunan suhu paling rendah terjadi pada tangki yang didinginkan oleh nanofluida Air-Al₂O₃ 0.13% volume yaitu 47°C. Grafik di atas menunjukkan penurunan suhu menggunakan nanofluida Air-Al₂O₃ lebih baik jika dibandingkan menggunakan fluida dasar aquadest, dengan penurunan paling rendah terjadi pada tangki yang didinginkan oleh nanofluida Air-Al₂O₃ sebesar 3°C. Penambahan Al₂O₃ nanopartikel pada fluida dasar menyebabkan penyerapan kalor lebih banyak jika dibandingkan dengan penyerapan kalor menggunakan fluida dasar aquadest. Semakin banyak Al₂O₃ nanopartikel yang ditambahkan, semakin banyak panas dari sistem yang diserap.

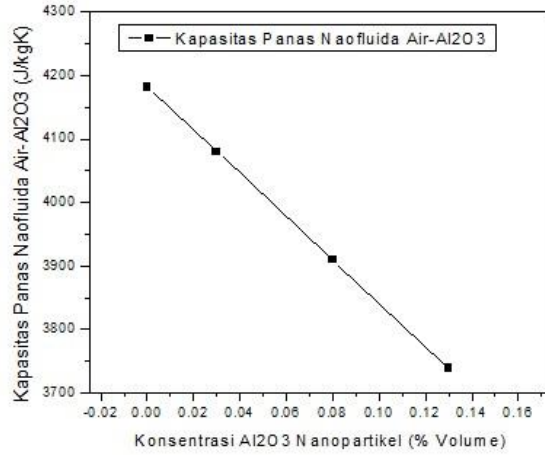
Koefisien Kinerja

Laju perpindahan kalor menunjukkan perbandingan kalor yang dilepas oleh tangki fluida yang bersuhu panas dengan kalor yang diterima fluida pendingin pada reservoir. Laju aliran kalor diperlukan untuk mengetahui besar kalor yang diserap oleh nanofluida Air-Al₂O₃ terhadap fluida pada tangki yang didinginkan. Perhitungan laju aliran kalor berdasarkan persamaan 2.8, akan tetapi untuk kapasitas panas fluida dihitung berdasarkan persamaan Pak dan Cho [25] (Persamaan 4.1).

$$C_{p_{nf}} = \phi C_{p_p} + (1 - \phi) C_{p_w} \tag{3.1}$$

dimana C_{p_{nf}} adalah kapasitas panas nanofluida, φ adalah konsentrasi nanopartikel, C_{p_p} adalah kapasitas panas partikel dan C_{p_w} adalah kapasitas panas fluida dasar.

Dari persamaan 3.1 diperoleh nilai kapasitas panas nanofluida Air-Al₂O₃ yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.



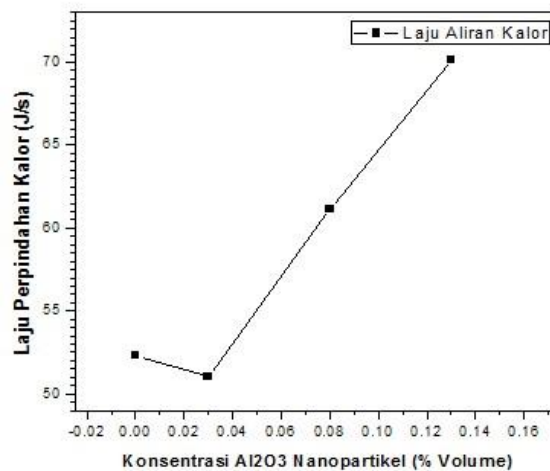
Gambar 3.6 Kapasitas panas nanofluida Air-Al₂O₃.

Setelah kapasitas panas didapat, kemudian laju perpindahan kalor dihitung menggunakan persamaan perhitungan laju perpindahan kalor, sehingga didapatkan laju perpindahan kalor setiap konsentrasi Al₂O₃ nanopartikel pada nanofluida Air-Al₂O₃ pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Laju Perpindahan Kalor.

Konsentrasi Al ₂ O ₃ Nanopartikel (% Volume)	Laju Perpindahan Kalor (J/s)
0	52,31
0,03	51,03
0,08	61,13
0,13	70,15

Gambar 4.8 menunjukkan grafik perbandingan laju aliran kalor yang terjadi akibat pengaruh konsentrasi nanofluida Air-Al₂O₃.



Gambar 3.7 Grafik laju perpindahan kalor.

Pada Gambar 3.7 laju perpindahan kalor yang diserap oleh fluida pada reservoir dengan konsentrasi Al₂O₃ nanopartikel 0 % volume lebih baik apabila dibandingkan dengan Al₂O₃ nanopartikel dengan konsentrasi 0,03 % volume. Hal ini dikarenakan nilai kapasitas panas berbanding terbalik dengan penambahan konsentrasi Al₂O₃ nanopartikel seperti pada Gambar 3.6, akan tetapi penurunan suhu pada kedua konsentrasi tersebut adalah sama

yaitu 2°C, sehingga hasil perhitungan diperoleh laju perpindahan kalor pada konsentrasi Al₂O₃ nanopartikel 0 % volume lebih baik dibandingkan dengan laju perpindahan kalor pada konsentrasi Al₂O₃ nanopartikel 0,03 % volume. Sementara itu, untuk laju perpindahan kalor yang diserap oleh fluida pada reservoir dengan konsentrasi Al₂O₃ nanopartikel 0,08 % volume dan 0,13 % volume meningkat seiring dengan ditambahkan konsentrasinya konsentrasi Al₂O₃ nanopartikel. Maka dapat disimpulkan bahwa kapasitas panas nanofluida menurun seiring ditambahkan konsentrasi nanopartikel Al₂O₃, sementara nilai laju aliran kalor meningkat seiring dengan kenaikan selisih suhu fluida sebelum dan sesudah didinginkan.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian adalah sebagai berikut.

1. Sintesis bijih bauksit menggunakan proses bayer dan solgel dan menghasilkan nanopartikel Al₂O₃ berukuran 6,31 nm.
2. Al₂O₃ nanopartikel telah berhasil didispersikan dengan air menjadi nanofluida Air-Al₂O₃ dengan proses *sonication* dan akan diuji coba pada model radiator.
3. Penurunan suhu tertinggi terjadi pada tangki dengan fluida pendingin nanofluida Air-Al₂O₃ dengan konsentrasi 0,13% volume sebesar 3°C. Hal ini menunjukkan penambahan Al₂O₃ nanopartikel berpengaruh terhadap proses pendinginan yang terjadi. Laju perpindahan kalor naik seiring dengan penambahan konsentrasi Al₂O₃ nanopartikel dan kenaikan selisih temperatur pada tangki fluida yang didinginkan, akan tetapi kapasitas panas nanofluida menurun seiring penambahan Al₂O₃ nanopartikel.

Daftar Pustaka

- [1] Waryono Karno, E. S. (2012). *Kajian Kebijakan Pengembangan Industri Mineral Sebagai Kawasan Ekonomi Khusus*. Jakarta: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [2] Auerkari, P. (1996). *Mechanical and Physical Properties of Engineering Alumina ceramics*. Finlandia: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT) Manufacturing Technology.
- [3] Abdullah, M. (2010). *Karakterisasi Nanomaterial*. Bandung: CV Rezeki Putra.
- [4] DOB Apriandanu, S. W. (2013). Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Metode Poliol Dengan Agen Stabilisator Polivinilalkohol (PVA). *Jurnal MIPA 36 (2): 157-168 (2013)*, 157-168.
- [5] Xiang-Qi Wang, A. S. (2007). Heat Transfer Characteristics Of Nanofluids: A Review. *ScienceDirect*, 1-19.
- [6] M.M. Elias, I. M. (2014). Experimental Investigation on The Thermo-Physical Properties Of Al₂O₃ Nanoparticles Suspended in Car Radiator Coolant. Kuala Lumpur: *ScienceDirect*, 48-53.
- [7] Sugeng Rianto, M. A. (2012). Pembuatan Sistem Perangkat Lunak Alat Surface Area Meter Sorptomatic 1800. *Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir* (hal. 252). Bandung: BATAN.
- [8] Davis, K. (2010). *Material Review: Alumina (Al₂O₃)*. Belgia : School of Doctoral Studies (European Union).
- [9] Takashi Shirai, H. W. (2009). Structural Properties and Surface Characteristics on Aluminum Oxide Powders. *Nagoya Institute of Technology*.
- [10] Dani Gustaman Syarif, D. H. (2015). Synthesis and Characterization of Al₂O₃ Nanoparticles and Water-Al₂O₃ Nanofluids for Nuclear Reactor Coolant. *Advanced Materials Research Vol. 1123 (2015)* (hal. 270-273). Switzerland : Trans Tech Publications .
- [10] YI Jian-hong, S. Y.-y.-f.-y. (2009). Synthesis of Crystalline γ -Al₂O₃ with High Purity. *ScienceDirect* , 1237-1242.
- [11] W. H. Azmi, K. V. (2010). Influence of Certain Thermo-Physical Properties on Prandtl Number of Water Based Nanofluids. *National Conference in Mechanical Engineering Research and Postgraduate Students (1st NCMER 2010)* (pp. 502-515). Pahang: Universiti Malaysia Pahang.