

SKRIPSI

**STUDI SIFAT FISIK DAN STABILITAS  
NANOFLUIDA  $\text{CuO} - \text{Al}_2\text{O}_3$  / *Aquades* DENGAN  
PENAMBAHAN SURFAKTAN SODIUM  
*DEODECYLSULFATE***



**M. FARREL ROIDTAQI**

**03051382025098**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**



**SKRIPSI**

**STUDI SIFAT FISIK DAN STABILITAS  
NANOFLUIDA  $\text{CuO} - \text{Al}_2\text{O}_3$  / *Aquades* DENGAN  
PENAMBAHAN SURFAKTAN *SODIUM  
DEODECYLSULFATE***

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana  
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**OLEH**

**M. FARREL ROIDTAQI**

**03051382025098**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**



**HALAMAN PENGESAHAN**

**STUDI SIFAT FISIK DAN STABILITAS NANOFLUIDA  $\text{CuO} - \text{Al}_2\text{O}_3$  / *Aquades* DENGAN PENAMBAHAN SURFAKTAN *SODIUM DEODECYLSULFATE***

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

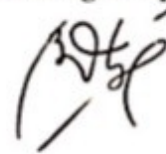
**M. FARREL ROIDTAQI**

**03051382025098**

Palembang, 12 Desember 2024

Diperiksa dan disetujui oleh

**Pembimbing Skripsi**



**Ir. Barlin S.T., M.Eng., Ph.D.**

**NIP. 198106302006041001**

Mengetahui,

**Ketua Jurusan Teknik Mesin**




**Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.**

**NIP. 19790927 2003121004**



JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. : 33/TM/AK/2024  
Diterima Tanggal : 30 Desember 2024  
Paraf : 

SKRIPSI

NAMA : M. FARREL ROIDTAQI  
NIM : 03051382025098  
JURUSAN : TEKNIK MESIN  
JUDUL SKRIPSI : STUDI SIFAT FISIK DAN STABILITAS  
NANOFLUIDA  $\text{CuO} - \text{Al}_2\text{O}_3$  / *AQUADES* DENGAN  
PENAMBAHAN SURFAKTAN *SODIUM*  
*DEODECYLSULFATE*

DIBUAT PADA : 21 MEI 2024  
SELESAI PADA : 26 DESEMBER 2024

Palembang, Desember 2024

Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Skripsi

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

  
Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng. Ph.D.

NIP. 197909272003121004



Ir. Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP. 198106302006041001





## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Studi Sifat Fisik dan Stabilitas Nanofluida CuO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Aquades dengan Penambahan Surfaktan Sodium Deodecylsulfate” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 12 Desember 2024.

Palembang, 12 Desember 2024

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Proposal Skripsi

**1. Ketua Penguji**

Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP. 198105102005011005

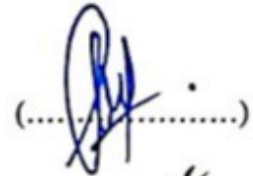


(.....)

**2. Penguji**

Dr. Ir. Dendy Adanta, S.Pd., M.T.

NIP. 199306052019031016

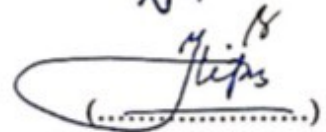


(.....)

**3. Penguji**

Dr. H. Ismail Thamrin, S.T, M.T

NIP. 197209021997021001



(.....)

Mengetahui,

**Ketua Jurusan Teknik Mesin**



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 19790927 2003121004

**Pembimbing Skripsi**



Ir. Barlin S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 198106302006041001



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis atas kehadiran Allah swt. yang telah memberikan Rahmat, Nikmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi yang berjudul “Studi Sifat Fisik dan Stabilitas Nanofluida  $\text{CuO-Al}_2\text{O}_3$  / *Aquades* dengan Penambahan Surfaktan *Sodium Deodecylsulfate*” disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Pada kesempatan ini dengan setulus hati penulis menyampaikan rasa hormat dan terimakasih yang tak terhingga atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan dalam penyusunan skripsi ini kepada:

1. Bapak Mudas dan Ibu Fenty selaku orang tua dari penulis serta adik-adik yang telah memberikan doa dan dukungan demi keberhasilan penulis.
2. Bapak Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Barlin S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak memberikan arahan dan saran dalam menyelesaikan Proposal Skripsi ini.
4. Bapak Qomarul Hadi, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
6. Seluruh teman-teman Teknik Mesin angkatan 2020 yang selalu memberi dukungan dan semangat dalam penyelesaian proposal skripsi.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Proposal Skripsi ini masih banyak sekali kekurangan karena keterbatasan wawasan penulis.

Maka dari itu, batuan saran dan kritik sangat diharapkan penulis untuk kelanjutan Skripsi ini. Penulis sangat berharap Proposal Skripsi ini bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang.

Palembang, 12 Desember 2024



M. Farrel Roidtaqi

03051382025098

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Farrel Roidtaqi

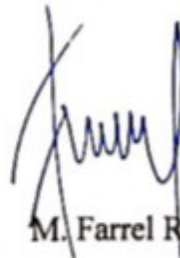
NIM : 03051382025098

Judul : STUDI SIFAT FISIK DAN STABILITAS NANOFLUIDA CuO –  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / AQUADES DENGAN PENAMBAHAN SURFAKTAN  
SODIUM DEODECYLSULFATE

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Palembang, 19 Desember 2024



M. Farrel Roidtaqi

NIM. 03051382025098



## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Farrel Roidtaqi

NIM : 03051382025098

Judul : STUDI SIFAT FISIK DAN STABILITAS NANOFLUIDA CuO –  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / AQUADES DENGAN PENAMBAHAN SURFAKTAN  
SODIUM DEODECYLSULFATE

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya saya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Palembang, 19 Desember 2024



M. Farrel Roidtaqi

NIM. 03051382025098





## RINGKASAN

### STUDI SIFAT FISIK DAN STABILITAS NANOFLUIDA CuO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / AQUADES DENGAN PENAMBAHAN SURFAKTAN SODIUM DEODECYLSULFATE

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 15 November 2024

M. Farrel Roidtaqi, dibimbing oleh Ir. Barlin S.T., M.Eng., Ph.D., DEA, xxix +  
90 Halaman, 16 Tabel, 28 Gambar, 14 Lampiran

Nanofluida merupakan suatu larutan yang terdiri dari nano-partikel dan fluida dasar. Pada umumnya, nano-partikel yang digunakan berasal dari logam, oksida logam, serta berbagai bentuk dari karbon. Penambahan partikel pada cairan dapat memperbaiki kandungan termal, elektrik, dan mekanik. Surfaktan adalah zat yang digunakan untuk menstabilkan dan mendispersikan partikel nano dalam fluida nano. Preparasi nanofluida sangatlah penting karena untuk menentukan kualitas dari nanofluida tersebut. Proses preparasi nanofluida dimulai dengan perhitungan fraksi volume nanopartikel, perhitungan konsentrasi surfaktan, waktu pengadukan, dan waktu ultrasonik. Ada 2 parameter dalam penelitian ini. Dalam rasio nanopartikel digunakan 75% CuO : 25 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 50% CuO : 50% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan 25% CuO : 75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Dalam konsentrasi surfaktan SDS yaitu 0,3%, 0,6%, dan 0,9%. Dalam durasi pengadukan adalah 30 menit dan waktu ultrasonik adalah 30 menit. Setelah perhitungan fraksi volume nanopartikel dan konsentrasi surfaktan sudah selesai, masukkan nanopartikel dan surfaktan ke dalam aquades. Selanjutnya, campuran tadi di aduk menggunakan alat magnetik selama 30 menit. Setelah pengadukan selesai, lakukan sonikasi menggunakan alat ultrasonik. Setelah preparasi nanofluida sudah selesai, masuklah ketahap pengujian. Pada penelitian ini terdapat 9 sampel nanofluida

yang menggunakan surfaktan dan 3 sampel nanofluida yang tidak menggunakan surfaktan. Dalam penelitian ini terdapat 3 pengujian yaitu, densitas, viskositas, dan stabilitas dengan metode foto sedimen. Nanofluida yang menggunakan surfaktan memiliki nilai densitas dan viskositas yang lebih tinggi dibandingkan nanofluida yang tidak menggunakan surfaktan. Pada stabilitas, nanofluida yang menggunakan surfaktan juga lebih stabil dibandingkan nanofluida yang tidak menggunakan surfaktan.

**Kata Kunci** : Nanofluida, Surfaktan, CuO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, *Sodium Deodecylsulfate*

**Kepustakaan:** 72 (1995-2024)

## SUMMARY

### STUDY OF PHYSICAL FEATURES AND STABILITY OF NANOFLUIDA CuO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / AQUADES WITH ADDITION OF SODIUM DEODECYLSULFATE SURFACTANT

Pattern Scientific papers in the form of Undergraduate Thesis, November 15<sup>th</sup>  
2024

M. Farrel Roidtaqi, supervised by Ir. Barlin S.T., M.Eng., Ph.D., DEA, xxix +  
90 Pages, 16 Tables, 28 Figures, 14 Attachments

A nanofluid is a solution consisting of nano-particles and a base fluid. In general, the nano-particles used are derived from metals, metal oxides, and various forms of carbon. The addition of particles to fluids can improve thermal, electrical, and mechanical properties. Surfactants are substances used to stabilize and disperse nanoparticles in nanofluids. Nanofluid preparation is very important because it determines the quality of the nanofluid. The nanofluid preparation process starts with the calculation of the volume fraction of nanoparticles, calculation of surfactant concentration, stirring time, and ultrasonic time. There are 2 parameters in this study. In the nanoparticle ratio, 75% CuO: 25% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 50% CuO: 50% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and 25% CuO: 75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. The concentration of SDS surfactant was 0.3%, 0.6%, and 0.9%. The stirring duration was 30 minutes and the ultrasonic time was 30 minutes. After the calculation of the volume fraction of nanoparticles and surfactant concentration has been completed, put the nanoparticles and surfactant into distilled water. Next, the mixture was stirred using a magnetic device for 30 minutes. After the stirring is complete, perform sonication using an ultrasonic device. After the nanofluid preparation is complete, enter the testing stage. In this study, there were 9 nanofluid samples that used surfactants and 3 nanofluid samples that did not use surfactants. In this study there were 3 tests, namely, density, viscosity, and stability with the

sediment photo method. Nanofluids that use surfactants have higher density and viscosity values than nanofluids that do not use surfactants. In stability, nanofluids using surfactants are also more stable than nanofluids that do not use surfactants.

**Keywords :** Nanofluid, Surfactant, CuO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sodium Deodecylsulfate

**Literatures:** 72 (1995-2024)

## DAFTAR ISI

|  |       |
|--|-------|
| SKRIPSI .....  | iii   |
| HALAMAN PENGESAHAN .....   | v     |
| HALAMAN PERSETUJUAN .....  | ix    |
| KATA PENGANTAR.....  | xi    |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....                   | xiii  |
| HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS .....                              | xv    |
| RINGKASAN .....  | xvii  |
| SUMMARY .....  | xix   |
| DAFTAR ISI.....  | xxi   |
| DAFTAR GAMBAR .....  | xxv   |
| DAFTAR TABEL .....   | xxvii |
| DAFTAR LAMPIRAN .....  | xxix  |
| BAB 1 PENDAHULUAN.....   | 1     |
| 1.1    Latar Belakang .....                                      | 1     |
| 1.2    Perumusan Masalah .....                                   | 5     |
| 1.3    Ruang Lingkup Penelitian.....                             | 5     |
| 1.4    Tujuan Penelitian .....                                   | 6     |
| 1.5    Manfaat Penelitian .....                                  | 6     |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....                                      | 9     |
| 2.1    Nanofluida.....   | 9     |
| 2.1.1    Nanofluida Hibrida.....                                 | 10    |
| 2.1.2    Viskositas .....  | 10    |
| 2.1.3    Jenis - Jenis Nanofluida .....                          | 11    |
| 2.1.4    Preparasi nanofluida.....                               | 12    |
| 2.1.5    Nanopartikel.....                                       | 14    |
| 2.1.6    Tembaga (II) Oksida (CuO).....                          | 14    |
| 2.1.7    Aluminium Oksida (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )..... | 16    |
| 2.1.8 <i>Aquades</i> .....                                       | 17    |
| 2.2    Surfaktan .....   | 18    |

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| 2.2.1                                    | Sodium Deodecylsulfate (SDS) .....   | 19        |
| 2.3                                      | Sedimentasi .....  | 21        |
| 2.4                                      | Viskositas .....   | 21        |
| 2.4.1                                    | Viskositas Dinamik .....   | 22        |
| 2.4.2                                    | Viskositas kinematik .....   | 22        |
| 2.5                                      | Densitas .....   | 23        |
| 2.6                                      | <i>Review</i> Penelitian Sebelumnya.....   | 24        |
| <b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b> |  | <b>29</b> |
| 3.1                                      | Diagram Alir Penelitian .....  | 29        |
| 3.2                                      | Rangkaian Pengujian.....   | 30        |
| 3.3                                      | Persiapan Alat dan Bahan Penelitian .....  | 30        |
| 3.3.1                                    | Bahan.....   | 30        |
| 3.3.2                                    | Alat.....  | 31        |
| 3.4                                      | Pelaksanaan Penelitian .....   | 35        |
| 3.4.1                                    | Preparasi Nanofluida Berbasis CuO- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Aquades/SDS ..... | 35        |
| 3.4.2                                    | Proses Perhitungan Massa Nanopartikel .....  | 37        |
| 3.4.3                                    | Perhitungan Massa Surfaktan.....   | 39        |
| 3.5                                      | Pengujian Densitas .....   | 40        |
| 3.6                                      | Pengujian Viskositas .....   | 41        |
| 3.7                                      | Prosedur Pengujian.....  | 41        |
| 3.8                                      | Analisa dan Data Penelitian .....  | 42        |
| 3.9                                      | Tabel Waktu Penelitian .....   | 42        |
| 3.10                                     | Tabel Pengujian.....   | 43        |
| <b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>  |  | <b>45</b> |
| 4.1                                      | Data Pengujian .....   | 45        |
| 4.2                                      | Pengolahan data.....   | 48        |
| 4.2.1                                    | Viskositas Dinamik .....   | 49        |
| 4.2.2                                    | Viskositas Kinematik .....   | 53        |
| 4.3                                      | Pembahasan.....  | 56        |
| 4.3.1                                    | Hasil Pengujian Sedimentasi Hari Ke-1 .....  | 57        |
| 4.3.2                                    | Hasil Pengujian Sedimentasi Minggu Ke-2 .....  | 57        |
| 4.3.3                                    | Hasil Pengujian Sedimentasi Selama 1 Bulan.....                                      | 58        |
| <b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>  |  | <b>63</b> |
| 5.1                                      | Kesimpulan.....  | 63        |

|     |                     |    |
|-----|---------------------|----|
| 5.2 | Saran.....          | 63 |
|     | DAFTAR PUSTAKA..... | 65 |
|     | LAMPIRAN .....      | 75 |





## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Preparasi Nanofluida Menggunakan Surfaktan (Sumber : Ho dkk., 2011)..... | 13 |
| Gambar 2. 2 Tembaga (II) Oksida (CuO) .....  | 16 |
| Gambar 2. 3 Aluminium Oksida (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) .....                 | 17 |
| Gambar 2. 4 <i>Aquades</i> .....   | 17 |
| Gambar 2. 5 <i>Sodium Deodecyl Sulfate</i> (SDS).....                                | 20 |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....   | 29 |
| Gambar 3. 2 Gelas Beaker (Dokumentasi Pribadi) .....                                 | 31 |
| Gambar 3. 3 Timbangan Analistis (Dokumentasi Pribadi) .....                          | 31 |
| Gambar 3. 4 <i>Magnetic Stirrer</i> (Dokumentasi Pribadi).....                       | 32 |
| Gambar 3. 5 <i>Ultrasonic Cleaner</i> (Dokumentasi Pribadi).....                     | 33 |
| Gambar 3. 6 <i>Viscometer</i> (Dokumentasi Pribadi).....                             | 34 |
| Gambar 3. 7 <i>Density Meter</i> (Dokumentasi Pribadi).....                          | 35 |
| Gambar 3. 8 Diagram Alir penelitian .....  | 37 |
| Gambar 4. 1 Diagram Densitas Menggunakan Surfaktan.....                              | 46 |
| Gambar 4. 2 Diagram Densitas Tanpa Surfaktan.....                                    | 47 |
| Gambar 4. 3 Perbandingan Densitas Menggunakan Surfaktan dan Tanpa Surfaktan .....    | 48 |
| Gambar 4. 4 Diagram Viskositas Dinamik Menggunakan Surfaktan .....                   | 50 |
| Gambar 4. 5 Diagram Viskositas Dinamik Tanpa Surfaktan .....                         | 51 |
| Gambar 4. 6 Viskositas Dinamik .....   | 52 |
| Gambar 4. 7 Diagram Viskositas Kinematik Menggunakan Surfaktan .....                 | 54 |
| Gambar 4. 8 Diagram Viskositas Kinematik Tanpa Surfaktan .....                       | 55 |
| Gambar 4. 9 Viskositas Kinematik.....  | 56 |
| Gambar 4. 10 Hasil Pengamatan Sedimentasi Hari Ke-1 .....                            | 57 |
| Gambar 4. 11 Pengamatan Sedimentasi Minggu Ke-2 .....                                | 57 |
| Gambar 4. 12 Hasil Pengamatan Sedimentasi Selama 1 Bulan .....                       | 58 |
| Gambar 4. 13 Sedimentasi Milimeter Block .....                                       | 59 |
| Gambar 4. 14 Pengamatan Sedimentasi Pada Nanofluida Tanpa Surfaktan....              | 60 |

Gambar 4. 15 Sedimentasi Milimeter Block Tanpa Surfaktan..... 61

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Sifat-Sifat CuO .....                                      | 15 |
| Tabel 2. 2 Sifat-Sifat Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....           | 16 |
| Tabel 2. 3 Sifat Fisik Sodium Deodecylsulfaate (SDS) .....            | 20 |
| Tabel 2. 4 Data Penelitian Sebelumnya.....                            | 24 |
| Tabel 3. 1 Massa Nanopartikel.....                                    | 39 |
| Tabel 3. 2 Massa Surfaktan .....                                      | 40 |
| Tabel 3. 3 Analisa dan Data Penelitian .....                          | 42 |
| Tabel 3. 4 Waktu Penelitian .....                                     | 42 |
| Tabel 3. 5 Pengujian.....   | 43 |
| Tabel 4. 1 Pengujian Densitas Menggunakan Surfaktan.....              | 45 |
| Tabel 4. 2 Pengujian Densitas Tanpa Surfaktan.....                    | 47 |
| Tabel 4. 3 Pengujian Viskositas Dinamik Menggunakan Surfaktan.....    | 49 |
| Tabel 4. 4 Pengujian Viskositas Dinamik Tanpa Surfaktan.....          | 51 |
| Tabel 4. 5 Pengujian Viskositas Kinematik Menggunakan Surfaktan ..... | 53 |
| Tabel 4. 6 Pengujian Viskositas Kinematik Tanpa Surfaktan.....        | 55 |
| Tabel 4. 7 Perhitungan Milimeter Block .....                          | 59 |
| Tabel 4. 8 Sedimentasi Milimeter Block Tanpa Surfaktan .....          | 60 |



## DAFTAR LAMPIRAN

|  |    |
|--|----|
| Lampiran 1 hasil sedimentasi hari ke 1 .....   | 75 |
| lampiran 2 hasil sedimentasi hari ke 2 .....   | 76 |
| lampiran 3 hasil sedimentasi hari ke 3 .....   | 78 |
| Lampiran 4 Sedimentasi Tanpa menggunakan surfakan.....                                     | 79 |
| lampiran 5 Preparasi Nanofluida dan pengujian viskositas, densitas.....                    | 80 |
| lampiran 6 Speksifikasi Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dari merek LOBA CHEMIE PVT.LTD..... | 82 |
| lampiran 7 sertifikat Surfakan SDS.....  | 82 |
| lampiran 8 Perhitungan Viskositas Kinematik Dengan Surfaktan .....                         | 83 |
| lampiran 9 Perhitungan Viskositas Kinematik Tanpa Surfaktan\.....                          | 83 |
| lampiran 10 Lembar Konsultasi Tugas Akhir .....  | 85 |
| lampiran 11 Hasil Akhir Similaritas (Turnitin).....  | 86 |
| Lampiran 12 Surat Pernyataan Bebas Plagiarisme.....  | 88 |
| lampiran 13 Surat Keterangan Pengecekan Similaritas .....                                  | 89 |
| lampiran 14 Form Pengecekan Format Tugas Akhir .....                                       | 90 |



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Choi & Eastman (1995) mengistilahkan suspensi cair partikel kecil dalam cairan umum dikenal sebagai “nanofluida”, dimana nanopartikel dapat berupa logam, oksida logam, polimer, silika, atau bahkan tabung nano karbon dengan skala panjang kurang dari 100 nm. Cairan basa yang mengandung nanopartikel tersuspensi secara stabil, berukuran antara 1–100 nm, disebut nanofluida (Dezfulizadeh dkk., 2021). Setiap nanopartikel memiliki karakteristik dan dampak yang berbeda pada cairan dasarnya (Abchouyeh dkk., 2018). Jika dibandingkan dengan fluida dasar, terjadi perubahan sifat fisik campuran tersebut, misalnya, viskositas, densitas, dan konduktivitas termal (Sridhara & Satapathy, 2015).

Mayoritas artikel tentang nanofluida berbasis karbon melaporkan peningkatan signifikan dalam sifat termal-fisik bila dibandingkan dengan fluida dasar (Naufalino dkk., 2018). Cairan dasar, seperti air, minyak, etilen glikol, metanol, dll., berbentuk cair sebelum dicampur dengan partikel nano, yang sangat partikel kecil (1-100 nm) tersuspensi dalam fluida dasar, seperti  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Cu, ZnO, CuO, Ag,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , dll (Habbeeb dkk., 2024). Nanopartikel dasar bertanggung jawab atas peningkatan konduktivitas termal dalam cairan nano. Setiap partikel nano memiliki kemampuan unik untuk meningkatkan termal konduktivitas cairan nano. Oleh karena itu, untuk mencapai konduktivitas termal yang tinggi, diperlukan komposisi pencampuran, jenis nanopartikel, dan jenis fluida dasar yang sesuai (Ramachandran dkk., 2017).

Choi pertama kali melakukan penelitian tentang nanofluida dan berkonsentrasi pada pengukuran konduktivitas termal nanofluida jenis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan CuO dengan fluida dasar yang terdiri dari air dan etilen glikol. Dalam penelitiannya, ia melihat bagaimana perbedaan konsentrasi nanopartikel dalam

suatu cairan mempengaruhi kemampuan nanofluida untuk menghantarkan panas. Hasil yang ditemukan menunjukkan bahwa seiring dengan persentase volume nanopartikel yang ditambahkan, konduktivitas termal nanofluida meningkat secara signifikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel dapat meningkatkan efisiensi termal nanofluida. Hasil ini dapat digunakan pada aplikasi yang membutuhkan sistem perpindahan panas yang memiliki konduktivitas termal lebih tinggi (Choi & Eastman, 1995).

Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), disebut juga aluminium oksida, merupakan bahan keramik yang sangat penting untuk berbagai aplikasi teknologi. Bahan ini terkenal dengan kekerasannya yang sangat tinggi, titik lelehnya yang sangat tinggi, dan daya hantar listriknya yang rendah. Alumina banyak digunakan karena sifatnya untuk berbagai keperluan, seperti dalam industri elektronik sebagai komponen isolator, dalam bidang optik untuk aplikasi lensa atau pelapis, dalam bidang biomedis untuk implan atau prostetik, dan dalam bidang teknik mesin sebagai bahan tahan terhadap suhu dan gesekan yang tinggi. Alumina memiliki banyak keunggulan sehingga menjadi material yang sangat berguna dalam perkembangan teknologi masa kini (Prins, 2020). Jika dibandingkan dengan nanofluida air  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan air  $\text{TiO}_2$ , penambahan nanopartikel  $\text{CuO}$  dalam air meningkatkan konduktivitas termal air. Peningkatan tersebut dapat dijelaskan karena konduktivitas termal partikel  $\text{CuO}$  lebih tinggi dibandingkan konduktivitas termal partikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$ . Hasilnya,  $\text{CuO}$  menghantarkan panas lebih baik bila dicampur dengan cairan alkali  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  Sohel dkk., (2013) memeriksa karakteristik termofisika dan kemampuan transmisi panas dari berbagai cairan nano, ditemukan bahwa Semua volume cairan nano menunjukkan peningkatan konduktivitas termal yang cukup besar, yang menegaskan bahwa cairan nano  $\text{CuO}$ /air memiliki peningkatan yang menjanjikan dalam semua aplikasi perpindahan panas (Senthilraja dkk., 2023).

Penggunaan kombinasi beberapa jenis nanopartikel dapat lebih diutamakan daripada menggunakan satu jenis nanopartikel saja untuk memanfaatkan potensi maksimal dari penggunaan nanopartikel (Khan dkk., 2017). Pada penelitian yang dilakukan oleh (Amalraj & Michael, 2019) mensintesis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{CuO}$  (Tembaga Oksida) nanofluida untuk menyelidiki



kinerja panel surya. Nanofluida tersebut telah menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan cairan konvensional. Pada penelitian Wanatasanappan dkk., (2020) menguji pengaruh rasio campuran nanopartikel dan suhu nanofluida terhadap konduktivitas termal nanofluida hibrida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -CuO/air-EG. Konduktivitas termal tertinggi untuk fluida nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -CuO diperoleh untuk rasio nanopartikel 60:40 dengan peningkatan maksimum hingga 12,33% relatif terhadap fluida dasar. Selain itu, viskositas cairan nano hibrida menunjukkan tren penurunan seiring dengan peningkatan suhu. (Marulasiddeshi dkk., 2022) mendispersikan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -CuO (50:50) dalam air untuk menyelidiki konduktivitas termal cairan nano. Penulis melaporkan konduktivitas termal yang lebih tinggi dari cairan nano hibrida dibandingkan dengan cairan nano tunggal.

Metode preparasi nanofluida yang berbeda menghasilkan sifat termofisik nanofluida yang berbeda, termasuk stabilitas dan konduktivitas termal (Sridhara & Satapathy, 2015). *Magnetic stirrer* adalah alat yang penting untuk persiapan cairan nano. Optimalisasi kecepatan magnetic stirrer sangat penting untuk menghindari pembentukan gelembung selama persiapan cairan nano (Mukherjee dkk., 2018).

Penelitian menggunakan *magnetic stirrer* dengan waktu 30 menit mendapatkan hasil peningkatan pada stabilitas (Mohammadfam & Zeinali Heris, 2023) dan menghasilkan peningkatan yang optimal dan signifikan konduktivitas termal yang optimum dan signifikan (Riswanto dkk., 2021). Hal tersebut sejalan dengan penelitian (Septiadi dkk., 2018), menggunakan magnetic stirrer selama 15 menit untuk membantu homogenisasi. *Magnetic stirrer* dengan waktu 15 menit membuat nanofluida tetap stabil sampai 30 hari. Pada penelitian Alami dkk., (2020) menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 100rpm menghasilkan peningkatan panas, dan stabilitas dalam cairan nano. Pada penelitian Tahmasebi-Boldaji dkk., (2023), penggunaan magnetic stirrer telah menunjukkan bahwa dalam waktu singkat (10 menit) dapat memberikan nanofluida dengan stabilitas yang dapat diterima. Stabilitas nanofluida juga dapat ditingkatkan dengan memasukkan senyawa yang dikenal sebagai surfaktan atau dispersan ke dalam nanofluida (Al-Waeli dkk., 2019a).

Surfaktan merupakan senyawa kimia yang mempunyai kemampuan unik dalam menurunkan tegangan antar muka antara dua fasa cair yang mempunyai polaritas berbeda, seperti antara minyak dan air atau air dan minyak. Kemampuan ini memungkinkan surfaktan mengubah sifat permukaan cairan, menjadikannya sangat berguna dalam berbagai aplikasi industri. Karena sifatnya yang unik, surfaktan sering digunakan sebagai komponen perekat, zat koagulasi, zat pembasah, pembusa, dan pengemulsi. Selain itu, surfaktan juga telah banyak digunakan di berbagai sektor industri, antara lain industri makanan, farmasi, kosmetik, tekstil, polimer, cat, dan agrokimia, karena kemampuannya dalam meningkatkan efisiensi proses dan kualitas produk. (Johnson, R. W, dkk, 1989). Surfaktan meningkatkan viskositas nanofluida dibandingkan dengan cairan tanpa surfaktan (Mehta dkk., 2023).

Kehadiran senyawa ini dapat menurunkan tegangan permukaan antara nanopartikel dan fluida dasar sehingga mengakibatkan penurunan sifat termofisik nanofluida. Hal ini karena surfaktan berhasil meningkatkan stabilitas dengan mencegah aglomerasi dan agregasi hanya jika digunakan dalam jumlah optimal, karena penggunaan berlebih dapat menyebabkan penurunan stabilitas. Sifat kimia surfaktan terdiri dari dua bagian utama, yaitu gugus kepala polar hidrofilik diikuti rantai hidrokarbon panjang yang disebut ekor hidrofobik. Beberapa surfaktan yang umum digunakan oleh para peneliti antara lain Sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS), Oleic Acid (OA), arab gum, Polyvinylpyrrolidone (PVP), dll. Surfaktan anionik yang paling banyak dipelajari dalam sains adalah natrium dodesilsulfat (SDS) (Warra, 2013).

Natrium Deodesilsulfat banyak digunakan baik untuk studi fundamental maupun dalam banyak aplikasi industri (Tadros, 2005). Penelitian yang dilakukan oleh Ghadimi mengenai kestabilan suspensi nano titania dengan penambahan surfaktan menunjukkan bahwa penambahan surfaktan 0,1% dapat meningkatkan kestabilan suspensi nano secara signifikan, sehingga suspensi dapat tetap stabil hingga satu bulan tanpa adanya partikel yang berarti. . pengendapan atau aglomerasi (Ghadimi, A dkk, 2013). Seperti surfaktan lainnya, natrium dodesilsulfat memiliki molekul amfifilik yang mengandung gugus hidrofilik dan hidrofobik (Lv dkk., 2007). Pada beberapa kasus, partikel

yang ditambahkan ke dalam fluida tidak dapat terdispersi dengan baik karena memiliki sifat homofobik. Oleh sebab itu, penambahan surfaktan sering dilakukan untuk mendapatkan dispersi nanopartikel yang lebih baik.

Penelitian Altun dkk. (2021), menyelidiki efek surfaktan Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) pada stabilitas dan sifat termofisika dari nanofluida berbasis air yang mengandung partikel Aluminium Oksida ( $Al_2O_3$ ), ditemukan bahwa nilai densitas relatif cairan nano ditemukan tidak bergantung pada suhu untuk setiap konsentrasi partikel. Sementara viskositas relatif cairan nano meningkat dengan suhu.

Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan karakterisasi sifat fisik dan stabilitas nanofluida CuO -  $Al_2O_3$ /Aquadess pada fraksi volume 0.5% dengan penambahan surfaktan Sodium Deodecylsulfate (SDS) dengan konsentrasi 0.3%, 0.6%, dan 0.9%.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti dapat merumuskan sebuah masalah yaitu bagaimana mengevaluasi dan menganalisis karakterisasi sifat fisik dan stabilitas nanofluida CuO- $Al_2O_3$  / *aquades* pada fraksi volume 0,5% dan rasio hibridia nanopartikel 75%-25%, 50%-50%, 25%-75% dengan penambahan surfaktan *Sodium Deodecylsulfate* (SDS) dengan konsentrasi adalah 0.3%, 0.6%, dan 0.9%.

## 1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Batasan masalah yang diambil pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini difokuskan pada pengaruh penambahan surfaktan pada karakteristik sifat fisik dengan pengujian viskositas dan densitas.
2. *Basefluid* yang digunakan adalah *Aquades*.
3. Nanopartikel yang digunakan adalah Tembaga (II) Oksida (CuO) dan  $Al_2O_3$ .

4. Fraksi volume nanopartikel yang digunakan adalah 0.5%.
5. Rasio nanopartikel dibagi menjadi tiga level 75% CuO dan 25% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> , 50% CuO dan 50% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan 25% CuO dan 75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
6. Surfaktan yang digunakan adalah *Sodium Deodecylsulfate* (SDS)
7. Kosentrasi Surfaktan *Sodium Deodecylsulfate* (SDS) adalah 0.3%, 0.6%, dan 0.9%.
8. Proses preparasi nanofluida menggunakan metode *two step*.
9. Parameter pengujian karakteristik nanofluida CuO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Aquadess meliputi uji foto sedimentasi, uji Viskositas, dan uji Densitas.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengkarakterisasi sifat fisik nanofluida berbasis CuO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Aquadess dengan penambahan surfaktan *Sodium Deodecylsulfate* (SDS) yang meliputi pengujian densitas dan viskositas.
2. Mengamati stabilitas nanofluida berbasis CuO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Aquadess dengan penambahan surfaktan *Sodium Deodecylsulfate* (SDS) dengan metode foto sedimentasi.
3. Mengamati perbedaan nanofluida berbasis CuO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Aquadess dengan penambahan surfaktan *Sodium Deodecylsulfate* (SDS) dan nanofluida tanpa penambahan surfaktan.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan ilmu dan teknologi khususnya pada bidang material nanofluida.
3. Untuk mempermudah dalam melakukan pengujian dan penelitian selanjutnya.

4. Untuk mengetahui karakteristik sifat fisik dari nonfluida CuO- $\text{Al}_2\text{O}_3$ /*Aquades* apabila ditambahkan surfaktan SDS.
5. Untuk mengetahui stabilitas nanofluida berbasis CuO -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /*Aquades* dengan penambahan surfaktan *Sodium Deodecylsulfate* (SDS) dengan metode foto sedimentasi.
6. Untuk mengetahui perbedaan nanofluida berbasis CuO -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /*Aquades* dengan penambahan surfaktan *Sodium Deodecylsulfate* (SDS) dan nanofluida tanpa penambahan surfaktan.
7. Agar bisa menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abchouyeh, M. A., Mohebbi, R., & Fard, O. S. (2018). Lattice Boltzmann simulation of nanofluid natural convection heat transfer in a channel with a sinusoidal obstacle. *International Journal of Modern Physics C*, 29(9). <https://doi.org/10.1142/S0129183118500791>
- Alami, A. H., Hawili, A. A., Aokal, K., Faraj, M., & Tawalbeh, M. (2020). Enhanced heat transfer in agitated vessels by alternating magnetic field stirring of aqueous Fe–Cu nanofluid. *Case Studies in Thermal Engineering*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100640>
- Alasti, B. (2021). Investigating thermo-physical properties and thermal performance of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CuO nanoparticles in Water and Ethylene Glycol based fluids. *International Journal of Nano Dimension*, 12(3), 252–271.
- Altun, A., Şara, O., & Doruk, S. (2022). SDS surfactan effects on stability and thermophysical properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water based nanofluids. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 10(3), Article 3. <https://doi.org/10.36306/konjes.1019424>
- Altun, A., Sara, O. N., & Şimşek, B. (2021). A comprehensive statistical approach for determining the effect of two non-ionic surfactants on thermal conductivity and density of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–water-based nanofluids. *Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects*, 626. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127099>
- Al-Waeli, A. H. A., Chaichan, M. T., Kazem, H. A., & Sopian, K. (2019a). Evaluation and analysis of nanofluid and surfactant impact on photovoltaic-thermal systems. *Case Studies in Thermal Engineering*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100392>
- Al-Waeli, A. H. A., Chaichan, M. T., Kazem, H. A., & Sopian, K. (2019b). Evaluation and analysis of nanofluid and surfactant impact on photovoltaic-thermal systems. *Case Studies in Thermal Engineering*, 13, 100392.

<https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100392>

- Amalraj, S., & Michael, P. A. (2019). Synthesis and characterization of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CuO nanoparticles into nanofluids for solar panel applications. *Results in Physics*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102797>
- Asadi, A., Alarifi, I. M., & Foong, L. K. (2020). An experimental study on characterization, stability and dynamic viscosity of CuO-TiO<sub>2</sub>/water hybrid nanofluid. *Journal of Molecular Liquids*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112987>
- Askar, A. H., Kadhim, S. A., & Mshehid, S. H. (2020). The surfactants effect on the heat transfer enhancement and stability of nanofluid at constant wall temperature. *Heliyon*, 6(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04419>
- Bacia, M., Masajada, J., & Drobczynski, S. (2013). Observation of magnetic nanoparticles ring formation and dynamics with fast video camera. *Photonics Letters of Poland*, 5(4), 137–139. <https://doi.org/10.4302/plp.2013.4.06>
- Bhavani J, D., Gopal, T. S., Gnanasekar, S., Pandiaraj, S., Muthuramamoorthy, M., Alodhayb, A. N., & Andrews, N. G. (2024). Ultrasonic Interferometry and Physiothermal properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CuO nanofluids. *Case Studies in Thermal Engineering*, 55. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104120>
- Blondeau, D., Roy, L., Dumont, S., Godin, G., & Martineau, I. (2005). Physicians' and pharmacists' attitudes toward the use of sedation at the end of life: Influence of prognosis and type of suffering. *Journal of Palliative Care*, 21(4), 238–245. <https://doi.org/10.1177/082585970502100402>
- Bocińska, M., Wyciślik, H., Osuchowski, M., & Płocharski, J. (2002). Influence Of Surfactants On Properties Of Electrorheological Fluids Containing Polyaniline. *International Journal of Modern Physics B*, 16(17n18), 2461–2467. <https://doi.org/10.1142/S0217979202012517>
- Chen, J., & Jia, J. (2017). Experimental Study of TiO<sub>2</sub> Nanofluid Coolant for Automobile Cooling Applications. *Materials Research Innovations*, 21(3), 177–181. <https://doi.org/10.1080/14328917.2016.1198549>

- Chen, J. M., Sun, X. Y., Leng, G. J., & Feng, J. H. (2015). Performance Investigation of TiO<sub>2</sub> Nanofluid Coolant for Automobile Cooling Applications. *Key Engineering Materials*, 645–646, 444–448. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.645-646.444>
- Choi, S. U. S., & Eastman, J. A. (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. 231, 99–105.
- Chokprasombat, K., Koyvanich, K., Sirisathitkul, C., Harding, P., & Rugmai, S. (2016). Investigation of Surfactant Effect on Size Distribution of FePt-based Nanoparticles by Synchrotron SAXS and TEM. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 69(3), 733–740. <https://doi.org/10.1007/s12666-015-0545-5>
- Das, P. K., Mallik, A. K., Ganguly, R., & Santra, A. K. (2018). Stability and thermophysical measurements of TiO<sub>2</sub> (anatase) nanofluids with different surfactants. *Journal of Molecular Liquids*, 254, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.01.075>
- Dezfulizadeh, A., Aghaei, A., Joshaghani, A. H., & Najafizadeh, M. M. (2021). An experimental study on dynamic viscosity and thermal conductivity of water-Cu-SiO<sub>2</sub>-MWCNT ternary hybrid nanofluid and the development of practical correlations. *Powder Technology*, 389, 215–234. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.05.029>
- Diniardi, E., Basri, H., Ramadhan, A. I., & Almanda, D. (2021). Studi Pengembangan Hibrida Nanofluida Untuk Aplikasi di Bidang Teknik. *Jurnal Teknologi*, 13(2), 237–246.
- Downs, R. T., & Hall, M. (2003). The American Mineralogist Crystal Structure Database. *American Mineralogist*, 88, 247–250.
- Ebrahim, S. A., Pradeep, E., Mukherjee, S., & Ali, N. (2023). Rheological behavior of dilute graphene-water nanofluids using various surfactants: An experimental evaluation. *Journal of Molecular Liquids*, 370, 120987. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.120987>
- Esmailzadeh, P., Bahramian, A., & Fakhroueian, Z. (2011). Adsorption of Anionic,



Cationic and Nonionic Surfactants on Carbonate Rock in Presence of ZrO<sub>2</sub> Nanoparticles. *Physics Procedia*, 22, 63–67. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2011.11.009>

Gallego, A., Cagua, K., Herrera, B., Cabaleiro, D., Piñeiro, M. M., & Lugo, L. (2020). Experimental evaluation of the effect in the stability and thermophysical properties of water- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> based nanofluids using SDBS as dispersant agent. *Advanced Powder Technology*, 31(2), 560–570. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2019.11.012>

Habbeb, M. G., Yaseen, A. H., & Hussien, A. M. (2024). Impact of surfactant on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluids stability for cooling the central processing unit of computer. *Case Studies in Thermal Engineering*, 54. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104094>

Haghnazari, S., & Abedini, V. (2021). Effects of hybrid Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–CuO nanofluids on surface roughness and machining forces during turning AISI 4340. *SN Applied Sciences*, 3(2), 203. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04088-w>

Ho, C. J., Huang, J. B., Tsai, P. S., & Yang, Y. M. (2011). On laminar convective cooling performance of hybrid water-based suspensions of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles and MEPCM particles in a circular tube. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(11–12), 2397–2407. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.02.022>

Jacob, M. V., Thomas, S., Sebastian, M. T., Honkama, J., & Jantunen, H. (2010). Frequency and temperature dependent dielectric properties of GreenTapes. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 46(1), 36–40. <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2024.100474>

Jiang, T., Bujoli-Doeuff, M., Farre, Y., Pellegrin, Y., Boujtita, M., Cario, L., Jobic, S., Odobel, F., & Gautron, E. (2016). CuO nanomaterials for p-type dye-sensitized solar cells. *RSC Adv.*, 6. <https://doi.org/10.1039/C6RA17879K>

Khan, M., Hashim, & Hafeez, A. (2017). A review on slip-flow and heat transfer performance of nanofluids from a permeable shrinking surface with thermal radiation: Dual solutions. *Chemical Engineering Science*, 173, 1–11.

<https://doi.org/10.1016/j.ces.2017.07.024>

- Li, S., Yuan, S., Zhang, Y., Guo, H., Liu, S., Wang, D., & Wang, Y. (2022). Molecular Dynamics Study on the Demulsification Mechanism of Water-In-Oil Emulsion with SDS Surfactant under a DC Electric Field. *Langmuir*, 38(41), 12717–12730. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.2c02364>
- Li, W., Wang, H., Li, X., Liang, Y., Wang, Y., & Zhang, H. (2021). Effect of mixed cationic/anionic surfactants on the low-rank coal wettability by an experimental and molecular dynamics simulation. *Fuel*, 289. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119886>
- Lv, C., Su, Y., Wang, Y., Ma, X., Sun, Q., & Jiang, Z. (2007). Enhanced permeation performance of cellulose acetate ultrafiltration membrane by incorporation of Pluronic F127. *Journal of Membrane Science*, 294(1), 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2007.02.011>
- Marulasiddeshi, H. B., Kanti, P. K., Jamei, M., Prakash, S. B., Sridhara, S. N., & Said, Z. (2022). Experimental study on the thermal properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CuO/water hybrid nanofluids: Development of an artificial intelligence model. *International Journal of Energy Research*, 46(15). <https://doi.org/10.1002/er.8739>
- Mehta, B., Subhedar, D., Panchal, H., & Sadasivuni, K. K. (2023). Stability and thermophysical properties enhancement of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water nanofluid using cationic CTAB surfactant. *International Journal of Thermofluids*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100410>
- Mohammadfam, Y., & Zeinali Heris, S. (2023). Thermophysical characteristics and forced convective heat transfer of ternary doped magnetic nanofluids in a circular tube: An experimental study. *Case Studies in Thermal Engineering*, 52. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103748>
- Mukherjee, S., Mishra, P. C., & Chaudhuri, P. (2018). Stability of Heat Transfer Nanofluids – A Review. *ChemBioEng Reviews*, 5(5), 312–333. <https://doi.org/10.1002/cben.201800008>
- Nasrin, R., Hasanuzzaman, Md., & Rahim, N. A. (2019). Effect of Nanofluids on

Heat Transfer and Cooling System of the Photovoltaic/Thermal Performance. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 29(6), 1920–1946. <https://doi.org/10.1108/HFF-04-2018-0174>

National Center for Biotechnology Information. (2024a). PubChem Compound Summary for CID 14829, Copper oxide. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Copper-oxide>

National Center for Biotechnology Information. (2024b). PubChem Compound Summary for CID 9989226, Aluminum Oxide. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Aluminum-Oxide>

Naufalino, M., Daradjat, M. I., Parawansa, R. N. R., Ma'dika, B., Ramahdita, G., Harjanto, S., & Putra, W. N. (2018). Effect of Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate Addition as Surfactant in Carbon Nanofluid for Quench Medium Application. *Jurnal Metalurgi dan Material Indonesia (JMMI)*, 1(2), 35–39.

Oppusunggu, J. R., Siregar, V. R., & Masyithah, Z. (2015). Pengaruh Jenis Pelarut dan Temperatur Reaksi Pada Sintesis Surfaktan Dari Asam Oleat dan n-metil Glukamina dengan Katalis Kimia. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.32734/jtk.v4i1.1456>

Pahlavanzadeh, H., Khanlarkhani, M., Rezaei, S., & Mohammadi, A. H. (2019). Experimental and modelling studies on the effects of nanofluids (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and CuO) and surfactants (SDS and CTAB) on CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> clathrate hydrates formation. *Fuel*, 253, 1392–1405. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.05.010>

Prins, R. (2020). On the structure of  $\gamma$ - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Journal of Catalysis*, 392, 336–346. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2020.10.010>

Qiao, Y., Sheng, W., He, C., Liu, C., & Rao, Z. (2021). Experimental Study on the Effect of Different Surfactants on the Thermophysical Properties of Graphene Filled Nanofluids. *International Journal of Energy Research*, 45(7), 10043–10063. <https://doi.org/10.1002/er.6497>

Ramachandran, K., Hussein, A. M., Kadirgama, K., Ramasamy, D., Azmi, W. H., Tarlochan, F., & Kadirgama, G. (2017). Thermophysical properties

- measurement of nano cellulose in ethylene glycol/water. *Applied Thermal Engineering*, 123, 1158–1165. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.05.067>
- Riswanto, D., Anggono, A. D., & Sarjito. (2021). Eksperimental Studi Pengaruh Laju Aliran dan Konsentrasi CNM Nano Fluida Terhadap Kinerja Convective Heat Transfer Coefficient [S2, Universitas Muhammadiyah Surakarta]. <https://doi.org/10/Surat%20Pernyataan%20Publikasi.pdf>
- Sagisaka, M., Narumi, T., Niwase, M., Narita, S., Ohata, A., James, C., Yoshizawa, A., Taffin De Givenchy, E., Guittard, F., Alexander, S., & Eastoe, J. (2014). Hyperbranched Hydrocarbon Surfactants Give Fluorocarbon-like Low Surface Energies. *Langmuir*, 30(21), 6057–6063. <https://doi.org/10.1021/la501328s>
- Saiffudin, A. (2022). Proses Preparation Nanofluida Hybrid (CuO- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Pada Double Pipe Heat Exchanger. 10(3), 113–118.
- Sajjad, H., Sajjad, A., Haya, R. T., Khan, M. M., & Zia, M. (2023). Copper oxide nanoparticles: In vitro and in vivo toxicity, mechanisms of action and factors influencing their toxicology. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2023.109682>
- Salager, J. L. (2002). *Surfactants types and uses*. De Los Andes University.
- Senthilraja, S., Gangadevi, R., Köten, H., Thangavel, S., Baskaran, M., & Awad, M. M. (2023). Energy analysis of solar powered hydrogen production system with CuO/water nanofluids: An experimental investigation. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 35(8), 525–530. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2023.09.001>
- Septiadi, W. N., Putra, N., & Saleh, R. (2015). Karakterisasi Konduktivitas Termal Nanofluida Oksida Berbasis Fluida Dasar H<sub>2</sub>O. 8(2), 111–230.
- Septiadi, W. N., Trisnadewi, I. A. N. T., Murti, M. R., & Putra, N. (2018). Konduktivitas Termal Efektif Hybrid Nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - TiO<sub>2</sub>-Air Pada Konsentrasi Rendah dan Tinggi. 1.
- Sheikhzadeh, G., university of Kashan, Fakhari, M. M., University of Birjand,

- Khorasanizadeh, H., & University of Kashan, Kashan. (2017). Experimental Investigation of Laminar Convection Heat Transfer of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ethylene Glycol-Water Nanofluid as a Coolant in a Car Radiator. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 10(1), 209–219. <https://doi.org/10.18869/acadpub.jafm.73.238.25768>
- Shinwari, W., Hayat, T., Abbas, Z., & Momani, S. (2023). A numerical study on the flow of water-based ternary hybrid nanomaterials on a stretchable curved sheet. *Nanoscale Advances*, 5(22), 6249–6261. <https://doi.org/10.1039/D3NA00572K>
- Sohel, M. R., Saidur, R., Sabri, M. F. M., Kamalisarvestani, M., Elias, M. M., & Ijam, A. (2013). Investigating the heat transfer performance and thermophysical properties of nanofluids in a circular micro-channel. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 42, 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2012.12.014>
- Sri Redjeki, A. (2020). Pengaruh Penambahan Surfaktan Metil Ester Sulfonat Terhadap Kestabilan Nanofluida Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>) [Monograph, Universitas Muhammadiyah Jakarta]. <https://repository.umj.ac.id/965/>
- Sridhara, V., & Satapathy, L. N. (2015). Effect of Nanoparticles on Thermal Properties Enhancement in Different Oils-A Review. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 40(6), 399–424. <https://doi.org/10.1080/10408436.2015.1068159>
- Suroso, B., Kamal, S., & Kristiawan, B. (2015). Pengaruh Temperatur dan Fraksi Volume Terhadap Nilai Perpindahan Kalor Konveksi Fluida Nano TiO<sub>2</sub>/Oli Termo XT32 Pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik. 13(2).
- Suryana, Rifda. (2013). Analisis Kualitas Air Sumur Dangkal di Kecamatan Biringkanayya Kota Makassar. Universitas Hasanuddin Makassar, 1–124.
- Syarif, D. G., & Prajitno, D. H. (2015). Synthesis and Characterization of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles and Water- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluids for Nuclear Reactor Coolant. *Advanced Materials Research*, 1123, 270–273. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1123.270>

- Tahmasebi-Boldaji, R., Ghazanfari, S., Rajabi Kuyakhi, H., Tahmasebi Boldaji, N., & Toriki, M. (2023). Experimental investigation of ultrasonic cycle/magnetic stirrer (UC/MS) effect on water/ $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nanofluid stability and thermal conductivity and its ANFIS/PSO modeling. *Results in Engineering*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101284>
- Tomasino, C. (2005). Effect of wet processing and chemical finishing on fabric hand. *Effect of Mechanical and Physical Properties on Fabric Hand*, 289–341. <https://doi.org/10.1533/9781845690984.3.289>
- Vaculikova, E., Grunwaldova, V., Kral, V., Dohnal, J., & Jampilek, J. (2012). Preparation of Candesartan and Atorvastatin Nanoparticles by Solvent Evaporation. *Molecules*, 17(11), 13221–13234. <https://doi.org/10.3390/molecules171113221>
- Wanatasanappan, V. V., Abdullah, M. Z., & Gunnasegaran, P. (2020). Thermophysical properties of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -CuO hybrid nanofluid at different nanoparticle mixture ratio: An experimental approach. *Journal of Molecular Liquids*, 313. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113458>
- Wen, S., Chen, G., Wu, Q., & Liu, Y. (2023). Simulation Study on Nanofluid Heat Transfer in Immersion Liquid-Cooled Server. *Applied Sciences*, 13(13), 7575. <https://doi.org/10.3390/app13137575>
- Yu, W., & Xie, H. (2012). A review on nanofluids: Preparation, stability mechanisms, and applications. *Journal of Nanomaterials*, 2012.