

**SKRIPSI**

**KARAKTERISASI SIFAT TERMOFISIK DAN  
STABILITAS FLUIDA NANO  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ /AQUADES  
PADA FRAKSI VOLUME 0,2%,0,4%,0,6%**



**IRVANDY**

**03051181823008**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2023**

**SKRIPSI**

**KARAKTERISASI SIFAT TERMOFISIK DAN  
STABILITAS FLUIDA NANO  $Al_2O_3$ - $TiO_2$ /AQUADES  
PADA FRAKSI VOLUME 0,2%,0,4%,0,6%**

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



**Oleh**

**IRVANDY**

**03051181823008**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2023**

## HALAMAN PENGESAHAN

### KARAKTERISASI SIFAT TERMOFISIK DAN STABILITAS FLUIDA NANO $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ /AQUADES PADA FRAKSI VOLUME 0,2% , 0,4% , 0,6%

#### SKRIPSI

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

Oleh:

**IRVANDY**

**03051181823008**



Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Irsyandi Yani, S.T., M.Eng, Ph.D.**  
**NIP. 197112251997021001**

Indralaya, Januari 2023

Diperiksa dan disetujui oleh,  
Pembimbing Skripsi

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D.

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

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

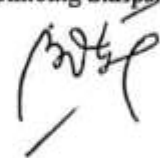
**Agenda No. :  
Diterima Tanggal :  
Paraf :**

---

**SKRIPSI**

**NAMA : IRVANDY  
NIM : 03051181823008  
JURUSAN : TEKNIK MESIN  
JUDUL SKRIPSI : KARAKTERISASI SIFAT TERMO  
FISIK DAN STABILITAS FLUIDA  
NANO  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ /AQUADES PADA  
FRAKSI VOLUME 0,2%, 0,4%, 0,6%  
DIBUAT TANGGAL : Februari 2022  
SELESAI TANGGAL : Desember 2022**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin  
  
Irsyadi Yani S.T., M.Eng., Ph.D  
NIP. 197112251997021001

Indralaya, Juni 2022  
Diperiksa dan disetujui oleh,  
Pembimbing Skripsi  
  
Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D  
NIP. 198106302006041001

## HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi dengan judul "KARAKTERISASI SIFAT TERMOFISIK DAN STABILITAS FLUIDA NANO  $Al_2O_3-TiO_2$ /AQUADES PADA FRAKSI VOLUME 0,2% , 0,4% , 0,6%" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 04 Januari 2023.

Palembang, Januari 2023

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

1. Irsyadi Yani, S.T, M.Eng, Ph.D  
NIP. 197112251997021001

Sekretaris :

2. Amir Arifin, S.T , M.Eng, Ph.D  
NIP. 197909272003121004

Anggota :


3. Dr. H. Ismail Thamrin, S.T , M.T  
NIP. 197209021997021001

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D  
NIP. 197112251997021001

Diperiksa dan disetujui oleh:  
Pembimbing Skripsi



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

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dalam rangka Tugas Akhir (Skripsi) yang dibuat untuk memenuhi syarat Seminar dan Sidang Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dengan judul “**KARAKTERISASI SIFAT TERMOFISIK DAN STABILITAS FLUIDA NANO  $Al_2O_3-TiO_2/AQUADES$  PADA FRAKSI VOLUME 0,2%,0,4%,0,6%**”

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala macam bimbingan dan bantuan yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini kepada:

1. Ayah Anwar dan Ibu Hestiana selaku orang tua penulis yang telah memberikan dukungan moril, bantuan, nasihat, serta materil.
2. Barlin, S.T., M.Eng. Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing, mendidik, memotivasi, serta banyak memberikan saran kepada penulis dari awal hingga skripsi ini selesai.
3. Irsyadi Yani, S.T., M.Eng. Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Me-sin Universitas Sriwijaya.
4. Amir Arifin, S.T., M.Eng. Ph.D selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
5. Gunawan, S.T., M.T. Ph.D selaku Dosen pengarah Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
6. Dipl-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.

Penulis sangat menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun untuk kelanjutan skripsi ini kedepannya akan sangat membantu. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi

ini bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang di kemudian hari.

Indralaya, 15 Januari 2023

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping, stylized lines that form a unique, somewhat abstract shape.

Irvandy

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Irvandy

NIM : 03051181823008

Judul : Karakterisasi Sifat Termofisik dan Stabilitas Fluida Nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -  
 $\text{TiO}_2$ /Aquades Pada Fraksi Volume 0,2% , 0,4% 0,6%

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 ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, Januari 2023



Irvandy

NIM.03051181823008



# HALAMAN PERNYATAAN INTERGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Irvandy

Nim : 03051181823008

Judul : Karakterisasi Sifat Termofisik dan Stabilitas Fluida Nano  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -  
 $\text{TiO}_2$ /Aquadess Pada Fraksi Volume 0,2% , 0,4% , 0,6%

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

Demikian, saya buat pernyataan ini dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Indralaya, Januari 2023



NIM.03051181823008

# RINGKASAN

KARAKTERISASI SIFAT TERMOFISIK DAN STABILITAS FLUIDA  
NANO  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ /AQUADES PADA FRAKSI VOLUME 0,2%, 0,4%, 0,6%  
Karya Tulis Ilmiah berupa skripsi, Januari 2023

Irvandy : Dibimbing oleh Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D  
xxviii + 64 halaman, 24 tabel, 25 gambar

## RINGKASAN

Nanofluida merupakan campuran antara material yang berukuran nano dan fluida dasar. Penambahan nanopartikel kedalam fluida dasar sudah pasti merubah sifat karakteristik dari fluida dasar tersebut. Pada penelitian sebelumnya ditunjukkan bahwa penggunaan nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  mampu meningkatkan koefisien perpindahan panas hingga 221%. Proses preparasi dari nanofluida merupakan salah satu parameter terpenting dalam menentukan kualitas dari nanofluida. Proses preparasi meliputi jumlah fraksi volume yang digunakan, campuran ratio nanopartikel yang digunakan, lama pengadukan, serta durasi dalam sistem ultrasonik. Pada tiap parameter ini juga disertai dengan 3 level. Pada fraksi volume 3 level yang digunakan yaitu 0,2%, 0,4%, dan 0,6%. Pada ratio nanopartikel 30%-70%, 50%-50%, dan 70%-30%. Pada durasi pengadukan yaitu 30, 60, dan 90 menit. Pada durasi ultrasonik yaitu 60, 90, dan 120 menit. Dengan jumlah parameter serta level yang ada tidak memungkinkan bagi peneliti untuk melakukan penelitian penuh sehingga penulis menggunakan metode taguchi untuk menemukan parameter optimal dari nanofluida. Proses preparasi dimulai dengan mencampur campuran nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  dan fluida dasar berupa aquades yang kemudian diaduk dalam pengaduk magnetik. Kemudian dimasukkan ke dalam alat *ultrasonic cleaner* untuk memecah aglomerasi yang ada. Kemudian dilakukan evaluasi terhadap stabilitas ke-9 sampel nanofluida yang telah dipreparasi dengan metode sedimentasi dan

sentrifugasi. Selanjutnya, pengujian densitas untuk menemukan nilai massa jenis dari nanofluida dengan alat piknometer. Kemudian dilakukan pengujian viskositas dengan alat viskometer bola jatuh, yang mana prinsip kerjanya ialah mengamati waktu yang diperlukan oleh bola untuk jatuh pada titik yang telah ditentukan. Kemudian data dari densitas serta viskositas akan dikumpulkan yang kemudian dilakukan perhitungan statistik metode taguchi untuk menemukan *setting level* optimal dari nanofluida. Setelah itu, perhitungan statistik *analysis of variance* dilakukan dengan tujuan mengetahui parameter mana yang memiliki pengaruh signifikan maupun tidak signifikan terhadap densitas serta viskositas dari nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>/Aquades. Setelah menemukan *setting level* optimal dari nanofluida, nanofluida kembali dipreparasi mengikuti *setting level* optimal yang ada yang kemudian sampel optimal ini dilakukan uji terhadap *scanning electron microscope* (SEM) untuk mengamati bentuk, ukuran, serta distribusi partikel nano tersebut. Hasil dari SEM menunjukkan bentuk partikel berupa kubik serta didominasi oleh partikel dengan bentuk bulatan-bulatan kecil. Selanjutnya pengamatan dilakukan dengan software image-J untuk mendapatkan ukuran serta distribusi partikel nano tersebut.

**Kata Kunci :** Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>, Hybrid Nanofluida , ANOVA

# SUMMARY

CHARACTERIZATION OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES AND STABILITY OF AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>/AQUADES NANO FLUID IN 0.2%, 0.4%, 0.6% VOLUME FRACTION

Scientific Writing in the form of a thesis, January 2023

Irvandy : Supervised of Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D

xxviii + 64 pages, 24 tables, 25 figure

## SUMMARY

Nanofluids is a mixture of nano-sized materials and basic fluids. The addition of nanoparticles into the base fluid certainly changes the characteristic properties of the base fluid. In previous studies it was shown that the use of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> nanoparticles can increase the heat transfer coefficient up to 221%. The preparation process of the nanofluid is one of the most important parameters in determining the quality of the nanofluid. The preparation process includes the number of volume fractions used, the mixed ratio of nanoparticles used, the duration of stirring, and the duration of the ultrasonic system. Each parameter is also accompanied by 3 levels. In the volume fraction, the 3 levels used are 0.2%, 0.4%, and 0.6%. At the ratio of nanoparticles 30% -70%, 50% -50%, and 70% -30%. The stirring duration was 30, 60 and 90 minutes. The ultrasonic duration is 60, 90 and 120 minutes. With the number of parameters and levels that exist, it is not possible for researchers to carry out full research, so the authors use the Taguchi method to find the optimal parameters of the nanofluid. The preparation process begins by mixing a mixture of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> nanoparticles and basic fluid in the form of distilled water which is then stirred in a magnetic stirrer. Then it is put into an ultrasonic cleaner tool to break down the existing agglomeration. Then an evaluation of the stability of the 9 nanofluid samples that had been

prepared by the sedimentation and centrifugation methods was carried out. Next, testing the density to find the density value of the nanofluid with a pycnometer. Then testing the viscosity with a falling ball viscometer, where the working principle is to observe the time needed for the ball to fall at a predetermined point. Then data from density and viscosity will be collected and then statistical calculations will be carried out using the Taguchi method to find the optimal setting level of the nanofluid. After that, statistical analysis of variance calculations carried out with the aim of knowing which parameters had a significant or insignificant effect on the density and viscosity of the  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  /Aquades nanofluid. After finding the optimal level setting of the nanofluid, the nanofluid was again prepared following the existing optimal level setting. Then this optimal sample was tested against a scanning electron microscope (SEM) to observe the shape, size, and distribution of the nanoparticles. The results of the SEM show that the particle shape is cubic and is dominated by particles with small dots. Furthermore, observations were made with image-J software to obtain the size and distribution of the nanoparticles.

**Keywords:**  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ , Hybrid Nanofluid, ANOVA

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	v
HALAMAN PERSETUJUAN .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTERGRITAS .....	xv
RINGKASAN .....	xvi
SUMMARY .....	xix
DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR GAMBAR .....	xxv
DAFTAR TABEL .....	xxviii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxviii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Nanofluida .....	5
2.1.1 Nanoteknologi.....	6
2.1.2 Nanopartikel.....	6
2.1.3 <i>Hybrid</i> Nanofluida .....	7
2.1.4 Aplikasi Nanofluida.....	8
2.1.5 Aluminium Oksida( $Al_2O_3$ ).....	9
2.1.6 Titanium Dioksida ( $TiO_2$ ).....	9
2.1.7 Air Murni ( <i>Aquades</i> ).....	10
2.1.8 Sedimentasi Nano Fluida .....	11
2.1.9 Sentrifugasi Nano Fluida .....	12
2.2 Preparasi Nanofluida .....	12

2.3	Viskositas .....	13
2.3.1	Viskositas Dinamik.....	14
2.3.2	Viskositas Kinematik.....	14
2.3.3	Viskometer Bola Jatuh.....	15
2.4	Densitas .....	16
2.5	Scanning Electrone Microscope .....	17
2.6	Metode Taguchi.....	18
2.6.1	Orthogonal Array.....	19
2.6.2	Signal to Noise Ratio .....	19
2.6.3	Analysis of Variance (ANOVA) .....	20
2.6.4	Selang Kepercayaan.....	22
2.7	Review Penelitian Terdahulu .....	23
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN .....</b>		<b>27</b>
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	27
3.2	Persiapan Bahan dan Alat.....	28
3.2.1	Bahan .....	28
3.2.2	Alat .....	28
3.3	Matriks Penelitian.....	29
3.4	Prosedur Penelitian.....	30
3.4.1	Proses Pembuatan Nanofluida .....	30
3.4.2	Proses Perhitungan Massa Nanopartikel .....	30
3.4.3	Karakterisasi Nanofluida <i>Aquades/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub></i> .....	31
3.5	Analisa dan Pengolahan Data.....	34
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>34</b>
4.1	Hasil Pengujian Densitas .....	35
4.2	Hasil Pengujian Viskositas .....	36
4.2.1	Nilai Viskositas Kinematik Pada Suhu 50C dan 93.5C Serta Nilai Indeks Viskositas.....	40
4.3	Evaluasi Stabilitas Nanofluida .....	41
4.3.1	Evaluasi Stabilitas Nanofluida dengan Metode Sedimentasi....	41
4.3.2	Evaluasi Stabilitas Nanofluida dengan MetodeSentrifugasi .....	44
4.4	Metode Taguchi.....	45
4.4.1	Perhitungan Nilai <i>Mean</i> dan SNR pada Densitas.....	45

4.4.2	Perhitungan ANOVA Terhadap Nilai <i>Mean</i> Setiap Faktor dan Level Faktor dari Densitas .....	46
4.4.3	Perhitungan Nilai SNR Setiap Faktor dan Level Faktor dari Densitas.....	48
4.4.4	Interaction Plot for Densitas .....	49
4.4.5	Perhitungan Nilai <i>Mean</i> dan SNR pada Viskositas .....	50
4.4.6	Perhitungan ANOVA Terhadap Nilai <i>Mean</i> Setiap Faktor dan Level Faktor dari Densitas.....	51
4.4.7	Perhitungan Nilai SNR Setiap Faktor dan Level Faktor dari Densitas .....	53
4.4.8	<i>Interaction Plot</i> for Viskositas.....	54
4.4.9	Penentuan <i>Setting Level</i> Optimal Nanofluida .....	55
4.4.10	Selang Kepercayaan Kondisi Optimal Nanofluida.....	55
4.4.11	Eksperimen Validasi .....	55
4.5	Hasil Pengamatan <i>Scanning Electrone Microscope</i> (SEM) .....	57
4.5.1	Hasil Pengamatan Scanning Electrone Microscope dengan Software Image-J.....	60
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		63
5.1	Kesimpulan .....	63
5.2	Saran .....	64
DAFTAR RUJUKAN .....		65
LAMPIRAN .....		69



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Nanopartikel $\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	9
Gambar 2. 2 Nanopartikel $\text{TiO}_2$ .....	10
Gambar 2. 3 Aquades .....	11
Gambar 2. 4 Perhitungan Analysis of Variance .....	21
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian .....	27
Gambar 4. 1 Grafik densitas .....	36
Gambar 4. 2 Grafik viskositas .....	39
Gambar 4. 3 Foto sampel nanofluida 1-9 (2 menit setelah preparasi) .....	41
Gambar 4. 4 Foto sedimentasi sampel nanofluida (1– 4 minggu setelah preparasi) .....	42
Gambar 4. 5 Foto hasil sentrifugasi nanofluida .....	44
Gambar 4. 6 Response graph for mean Densitas .....	47
Gambar 4. 7 Response graph for SNR densitas .....	49
Gambar 4. 8 Interaction plot for densitas .....	50
Gambar 4. 9 Response graph for means viskositas .....	52
Gambar 4. 10 Response graph for SNR viskositas .....	54
Gambar 4. 11 Interaction plot for viskositas .....	54
Gambar 4. 12 Perbandingan Selang Kepercayaan .....	57
Gambar 4. 13 Pengamatan SEM pada perbesaran 500x .....	58
Gambar 4. 14 Pengamatan SEM pada perbesaran 750x .....	58
Gambar 4. 15 Pengamatan SEM pada perbesaran 1000x .....	59
Gambar 4. 16 Pengamatan SEM pada perbesaran 3000x .....	59
Gambar 4. 17 Pengubahan gambar SEM ke thresold .....	60
Gambar 4. 18 Pengambilan data diameter nanopartikel .....	61
Gambar 4. 19 Grafik analisa distribusi partikel .....	61

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis nanopartikel (Ramadhan dkk., 2021).....	7
Tabel 2. 2 Tabel karakterisasi bola (Gafarot, 1997) .....	16
Tabel 2. 3 Studi literatur .....	25
Tabel 3. 1 Alat penelitian.....	28
Tabel 3. 2 Tabel variabel dan variasi metode taguchi .....	29
Tabel 3. 3 Matrik orthogonal array dan distribusi faktor.....	30
Tabel 3. 4 Tabel perbandingan massa nanopartikel.....	31
Tabel 3. 5 Data pengujian .....	34
Tabel 4. 1 Hasil pengujian densitas .....	35
Tabel 4. 2 Data nilai viskositas pada suhu 28°C.....	37
Tabel 4. 3 Data nilai viskositas pada suhu 50°C .....	38
Tabel 4. 4 Data nilai viskositas pada suhu 93.5°C.....	38
Tabel 4. 5 Data viskositas kinematik dan indeks viskositas .....	40
Tabel 4. 6 Tabel mean dan SNR densitas .....	46
Tabel 4. 8 Tabel ANOVA densitas .....	47
Tabel 4. 9 Response table for SNR densitas (Larger is Better) .....	48
Tabel 4. 10 Tabel SNR dan mean viskositas .....	51
Tabel 4. 11 Response table for means viskositas.....	51
Tabel 4. 12 Tabel ANOVA viskositas .....	52
Tabel 4. 13 Response table for SNR viskositas .....	53
Tabel 4. 14 Setting level optimal dari nanofluida.....	55
Tabel 4. 16 Tabel hasil eksperimen validasi densitas .....	56
Tabel 4. 17 Tabel hasil eksperimen validasi viskositas .....	56

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan massa nanopartikel.....	71
Lampiran 2 Contoh perhitungan mean dan SNR pada densitas .....	77
Lampiran 3 Contoh perhitungan ANOVA densitas.....	77
Lampiran 4. Contoh Perhitungan Selang Kepercayaan Densitas .....	75
Lampiran 5. Perhitungan Selang Kepercayaan Validasi Densitas.....	78
Lampiran 6. Ftabel 0,05 .....	79

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Proses pendinginan suatu mesin merupakan salah satu tantangan yang selalu ada bagi dunia manufaktur *automobile* karena panas yang berlebih dapat menghancurkan suatu peralatan mesin. Penambahan jumlah radiator bukan merupakan gagasan yang tepat untuk menurunkan panas yang dihasilkan oleh mesin karena akan meningkatkan daya konsumsi bahan bakar.

Sebuah radiator memainkan peranan penting dalam kendaraan bermotor. Saat ini, air dan etilen glikol digunakan sebagai cairan pendingin yang mana campuran ini memiliki konduktivitas thermal yang rendah. Etilen glikol digunakan untuk meningkatkan titik didih dari cairan pendingin. Untuk menjadi lebih baik, cairan pendingin yang dibutuhkan dalam menjalankan proses heat transfer ialah cairan yang memiliki konduktivitas thermal yang tinggi untuk membantu kerja yang dilakukan oleh radiator sehingga dapat menghemat konsumsi daya bahan bakar (Gakare dkk., 2019).

Oleh karena itu, diperlukan suatu cairan pendingin yang dapat digunakan untuk meningkatkan laju perpindahan panas. Nano-fluida hadir sebagai pendingin yang ideal karena koefisien difusi panas tinggi yang dimiliki serta dapat ditambahkan hampir pada seluruh proses yang membutuhkan reaksi cepat terhadap performansi thermal (Al-Araji dkk., 2021).

Nano-fluida merupakan suspensi stabil yang didalamnya terdapat partikel berskala nano dengan ukuran 1-100 nm yang terdispersi di dalam fluida dasar (Judenta dkk., 2017). Nano-fluida dianggap sebagai fluida perpindahan panas yang lebih baik karena memiliki karakteristik thermal serta koefisien perpindahan panas yang lebih baik jika dibandingkan dengan fluida konvensional.

Nano-fluida 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. Nanofluida merupakan material yang didalamnya terdapat nano partikel. Penambahan partikel pada cairan dapat memperbaiki kandungan termal, elektrik, dan mekanik. Partikel nano yang berukuran kecil akan mampu meningkatkan daya tahan isolasi dan degradasi minyak transformator sehingga lebih mudah terurai oleh mikroorganisme (Manab dkk., 2018).

Nano-coolant dipertimbangkan sebagai alternatif serta cairan pendingin generasi yang baru untuk mentransfer energi panas dan dapat digunakan sebagai cairan pendingin pada suatu alat penukar kalor (Saxena & Soni, 2018). *Nanocoolant* dapat diaplikasikan pada radiator dalam otomotif, pemanas tenaga surya, refrigasi, proses industri kimia, serta pendinginan terhadap peralatan elektronik.

Pada umumnya, tujuan penggunaan nanofluida ialah untuk mencapai kualitas fluida yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan fluida dasar biasa. Penambahan partikel nano, variasi pada fraksi volume, durasi proses pengadukan nanofluida dengan *magnetic stirrer*, serta *sonication time* dengan *ultrasonic cleaner* sudah pasti merubah sifat termofisik serta stabilitas dari nanofluida. Banyaknya faktor yang dapat dikontrol serta tidak dapat dikontrol menyebabkan penulis menggunakan Metode Taguchi untuk menentukan kondisi yang baik agar mendapatkan nilai yang optimal. Oleh karena itu, penulis mencoba menganalisis karakterisasi sifat termofisik dan stabilitas fluida nano  $Al_2O_3$ - $TiO_2$ /*Aquades* menggunakan Metode Taguchi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dengan banyaknya parameter yang dapat mempengaruhi sifat termofisik serta stabilitas dari nanofluida seperti salah satu contohnya yaitu fraksi volume. Maka penulis dapat merumuskan masalah yaitu menemukan level parameter optimal dari nanofluida serta menganalisis sifat termofisik dan stabilitas pada penggunaan nano partikel *Hybrid*  $Al_2O_3+TiO_2$

dengan penambahan fluida dasar berupa *Aquades* dengan variasi volume fraksi yang digunakan adalah 0,2%, 0,4%, dan 0,6% menggunakan metode Taguchi.

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diambil pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nanopartikel yang digunakan adalah *Hybrid*  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$ .
2. Fluida dasar yang digunakan adalah air murni/*aquades*.
3. Fraksi volume yang digunakan yaitu 0,2%, 0,4%, dan 0,6%.
4. Ratio nanopartikel yang digunakan yaitu 70%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -30%  $\text{TiO}_2$ , 50%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -50%  $\text{TiO}_2$ , dan 30%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -70%  $\text{TiO}_2$ .
5. Menggunakan analisis data *Analysis of Variance (ANOVA)*.
6. Proses preparasi nanofluida menggunakan metode *single-step*.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengkarakterisasi sifat termofisik nanofluida berbasis *Aquades*/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{TiO}_2$  berupa viskositas dinamik dan densitas.
2. Mengkarakterisasi stabilitas nanofluida dengan metode sedimentasi dan sentrifugasi.
3. Mengidentifikasi struktur mikro menggunakan *Scanning Electrone Microscope (SEM)*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat nanocoolant berbasis nanofluida *Aquades*/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{TiO}_2$ .
2. Mempelajari sifat termofisik, struktur mikro, serta stabilitas nanofluida *Aquades*/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{TiO}_2$ .

4

3. Menjadi referensi untuk penelitian nanofluida dengan metode *single-step*.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Nanofluida**

Nanofluida pada awalnya diperkenalkan oleh Choi dan Eastman (1995). Nanofluida dianggap sebagai media perpindahan panas generasi yang baru karena efektivitasnya yang tinggi dilaporkan dalam berbagai aplikasi perpindahan panas. nanofluida merupakan kombinasi dari fluida dasar dan konsentrasi rendah dari nano-sized partikel yang meliputi logam atau oksida logam yang digunakan dengan sangat beragam mulai dari *engineering devices in power and chemical engineering , medicine , electronics , energy , and environment* (Awais dkk., 2021).

Penggunaan nanofluida sebagai media perpindahan panas merupakan hal lain dari teknik peningkatan perpindahan panas yang telah menarik perhatian besar dari para peneliti maupun akademisi. Nanofluida merupakan koloid suspensi dari nanopartikel yang berdimensi lebih kecil dari 100 nm yang kemudian dicampur dengan fluida dasar. Nanofluida dianggap lebih menjanjikan karena memiliki karakteristik thermal yang lebih baik dibanding fluida konvensional. Nanofluida merupakan media perpindahan panas dengan konduktivitas termal yang lebih tinggi, namun pendispersian dari nanopartikel memerlukan perhatian lebih agar mencapai tingkat stabilitas yang diinginkan.

Pada nanofluida terdapat 2 jenis zat, yaitu zat yang berbentuk padat dan cair. Dimana zat padat merupakan nano partikel, sementara zat cair ialah fluida dasar. Tujuan utama diciptakannya nanofluida adalah meningkatkan nilai konduktivitas thermal. Nanofluida merupakan larutan yang mengandung nanopartikel yang biasanya partikel nano ini terbuat dari logam yang secara kimia stabil, oksida logam ataupun karbon dalam berbagai bentuk. Ukuran partikel nano ini memberikan pengaruh yang unik terhadap peningkatan karakteristik dari fluida konvensional (Sheremet, 2021).



### **2.1.1 Nanoteknologi**

Nanoteknologi merupakan bidang ilmu yang umumnya berurusan dengan partikel dengan ukuran dibawah 100 nm. Nanoteknologi juga dapat didefinisikan sebagai teknologi untuk memfabrikasi bahan yang ukurannya sangat kecil. Nanoteknologi ialah satu subklasifikasi teknologi dalam sains koloid, biologi, fisika, kimia, dan bidang ilmiah lainnya.

Konsep nanoteknologi pada awalnya diperkenalkan oleh Feynman (1959). Dengan mengecilnya ukuran suatu material yang berubah ke skala nanometer, maka dapat dikatakan sifat serta karakteristiknya berubah. Salah satu karakteristik dari nano-material ialah besarnya ukuran luas permukaan dibandingkan dengan materialnya. Nanoteknologi merupakan ilmu sains murni dan terapan. Ilmu fisika kuantum digunakan dalam dunia nanoteknologi (Souder & Gopalakrishnan, 2021).

### **2.1.2 Nanopartikel**

Nanopartikel didefinisikan sebagai koloid padat yang memiliki ukuran dengan kisaran 1 – 100 nm. Nanopartikel terdiri dari makro molekul material yang sudah direduksi ukuran secara top-down, partikel dari bulk menjadi serbuk lalu menjadi nano-partikel. Nanopartikel saat ini menjadi atensi para peneliti karena pengembangan material skala nano dapat meningkatkan sifat fisik, mekanik dan kimia suatu material tanpa harus merusak struktur atomnya (Harahap, 2012).

Definisi nanopartikel ini berbeda-beda tergantung dari material, bidang, dan aplikasinya. Nanopartikel dapat terbuat dari material kimia alami yang beragam dan yang paling sering adalah logam, oksida logam, silikat, keramik non-oksida, polimer, organik, karbon, dan biomolekul. Nanopartikel memiliki beberapa morfologi berbeda seperti sferis, silinderm platelet, tuba dan lainnya. Ukuran dari nanopartikel ini sangat mempengaruhi karakteristik dari nanofluida. (Dwistika, 2018).

Penambahan nanopartikel ke dalam fluida dasar akan mengakibatkan beberapa perubahan terhadap sifat termofisik dari sebuah fluida dasar yaitu perubahan pada nilai konduktivitas termal, viskositas dinamik, densitas, *specific heat capacity*, yang secara langsung akan memberikan dampak pada proses perpindahan panas. Oleh karena itu, diperlukan investigasi mengenai tingkat variasi dari koefisien viskositas serta parameter yang mempengaruhinya yaitu suhu, fraksi volume, metode stabilitas, jenis, ukuran, serta bentuk dari nanopartikel yang digunakan (Asadi dkk., 2020)

Nanopartikel memiliki kelebihan yaitu kemampuan untuk menembus ruang-ruang antar sel yang hanya dapat ditembus oleh ukuran partikel koloidal. Kemampuan menembus dinding sel yang lebih tinggi, baik melalui difusi maupun opsonifikasi, dan fleksibilitasnya untuk dikombinasi dengan berbagai teknologi lain sehingga membuka potensi yang luas untuk dikembangkan pada berbagai keperluan dan target. Pembentukan nanopartikel dapat dicapai dengan berbagai teknik yang sederhana (Martien dkk., 2012). Berikut merupakan beberapa jenis contoh dari nanopartikel.

Tabel 2. 1 Jenis nanopartikel (Ramadhan dkk., 2021)

Nanopartikel	Konduktivitas Termal (W/m.K)	Densitas (Kg/m <sup>3</sup> )
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40	3950
Al	69.8	2700
TiO <sub>2</sub>	11.7	4230
SiO <sub>2</sub>	1.4	2220
CuO	69	6400
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6	5250
Graphene	5000	2100
ZnO	29	5610
MgO	54.9	3580

### 2.1.3 Hybrid Nanofluida

Teknologi dari nanofluida berkembang dengan pesat dengan munculnya teknologi *hybrid* nanofluida, dimana nanopartikel yang dicampurkan ke dalam fluida dasar tidak hanya terbatas pada satu jenis nanopartikel. *Hybrid* nanofluida

merupakan kategori lanjutan dari nanofluida material tunggal dimana *Hybrid* nanofluida terbuat dari lebih dari satu jenis nanopartikel yang tersuspensi dalam fluida dasar. *Hybrid* Nanofluida merupakan jenis nanofluida yang sangat baru, yang dapat dibuat dengan mensintesa berbagai jenis (dua atau lebih dari dua) nanopartikel dalam fluida dasar. Dengan adanya *hybrid* nanofluida diharapkan mampu menghasilkan nanofluida yang tidak cepat mengendap dibandingkan dengan nanofluida tunggal (Okello dkk., 2020)

#### **2.1.4 Aplikasi Nanofluida**

Perilaku nanofluida pada pendingin telah banyak dipelajari karena memiliki karakteristik perpindahan panas yang baik. Berbagai jenis fluida nano telah diuji untuk mengamati kinerja termal dan penurunan tekanannya untuk memvalidasi kepraktisannya dalam pengaplikasian. Berbagai jenis tipe dari *heat exchanger* seperti *shell and tube*, *microchannel*, *compact* digunakan dalam kerja industri yang cukup berat. Nanofluida digunakan untuk meningkatkan performansi dari perpindahan panas. Pengaplikasian nanofluida pada radiator mobil juga salah satu hal yang cukup sering dijumpai.

Saat ini, radiator mobil kebanyakan menggunakan cairan campuran antara EG (Etilen Glikol) dan Air dengan komposisi 60/40, 50/50. Etilen glikol dicampur dengan air dengan tujuan meningkatkan titik didih dari air murni. Untuk menghasilkan sistem yang lebih efisien, penggunaan nanofluida dapat digunakan. Selain itu, nanofluida juga dapat digunakan dalam bidang pengaplikasian seperti refrigasi, *electronics equipment*, *transformer oil*, pendingin sistem nuklir, pelumas, bidang kesehatan, fluida radiator kendarran bermotor, ekstraksi energi geothermal, serta dapat diaplikasikan pada penggunaan panel surya. Pada umumnya, aplikasi dari nanofluida ditentukan oleh jenis dari fluida dasar dari nanofluida tersebut, apabila pada fluida dasar menggunakan minyak pada umumnya tujuan penggunaannya sebagai pelumas. Sementara itu, apabila menggunakan air, biasanya nanofluida tersebut dimanfaatkan sebagai fluida pendingin atau *coolant*. (Ali & Salam, 2020).

### 2.1.5 Aluminium Oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Aluminium oksida atau yang lebih dikenal dengan alumina atau korundum merupakan senyawa yang terbentuk dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Aluminium oksida terdapat di alam sebagai korundum, merupakan suatu zat kristal yang sangat keras yang biasanya digunakan untuk mengampelas.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mempunyai struktur paling stabil diantara senyawa lainnya yang terbentuk dari aluminium dan oksigen.

$\text{Al}_2\text{O}_3$  merupakan material keramik nonsilikat, mempunyai ketahanan listrik yang tinggi, sehingga alumina dapat digunakan sebagai penghambat (insulator) listrik dan panas yang baik,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  meleleh pada suhu  $2040\text{ }^\circ\text{C}$  dan dapat mempertahankan kekuatannya pada suhu  $1500\text{ }^\circ\text{C}$  hingga  $1900\text{ }^\circ\text{C}$ . Sifat lain dari  $\text{Al}_2\text{O}_3$  adalah tahan terhadap korosi. Sebagai salah satu jenis keramik,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  memiliki nilai konduktivitas termal yang cukup tinggi (Istiqomah dkk., 2016).



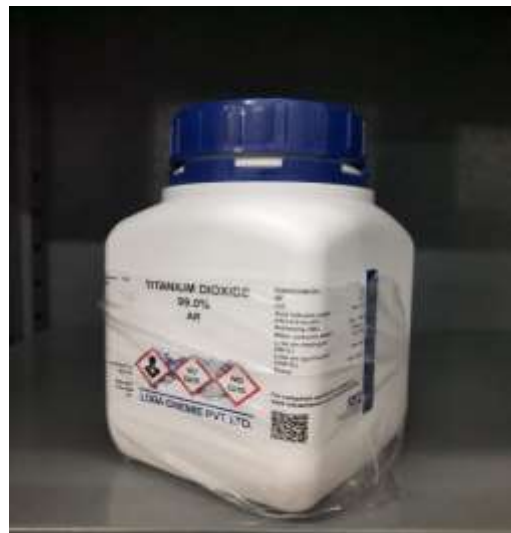
Gambar 2. 1 Nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$

### 2.1.6 Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ )

Titanium Dioksida merupakan suatu material yang memiliki berbagai keunggulan baik dari segi fisika maupun kimia. Keunggulan sifat yang dimiliki  $\text{TiO}_2$  ini menjadikannya memiliki aplikasi yang sangat luas dalam berbagai

bidang.(Ridhawati dan Fajar, 2017). Titanium Dioksida juga dikenal dengan sebutan titanium (IV) atau titania. Titanium digunakan sebagai campuran dari nanofluida karena sifatnya yang tidak berbahaya bagi makhluk hidup serta mudah ditemukan karena diproduksi dalam jumlah yang sangat besar di dunia industri serta harga nya yang relatif murah.

Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) merupakan salah satu material dengan sifat semikonduktor, hal ini disebabkan karena  $\text{TiO}_2$  ini bersifat inert, serta memiliki stabilitas termal yang baik, non-toksik, tahan tempratur yang tinggi, serta memiliki aktifitas katalis yang cukup baik. Selain itu, titanium dioksida merupakan bahan yang aman bagi makhluk hidup, nanopartikel  $\text{TiO}_2$  juga mudah ditemukan, serta ketika dicampur dengan fluida dasar nanopartikel ini memiliki stabilitas yang tinggi (Syukri dan Suyitno, 2022).



Gambar 2. 2 Nanopartikel  $\text{TiO}_2$

### 2.1.7 Air Murni (*Aquades*)

*Aquades* adalah air hasil destilasi/penyulingan yang sama dengan air murni atau  $\text{H}_2\text{O}$ , karena  $\text{H}_2\text{O}$  hampir tidak mengganggu mineral. Sedangkan air mineral adalah pelarut yang universal dan air yang sudah banyak mengandung mineral di dalamnya. Oleh karena itu air mineral akan dengan mudah menyrap

atau melarutkan berbagai mineral anorganik, logam berat, dan mikroorganisme. Sehingga, air mineral berbeda dengan *Aquades* ( $H_2O$ ) (Bernad, 2019)

*Aquades* merupakan pelarut yang jauh lebih baik dibandingkan hampir semua cairan yang umum dijumpai. Senyawa yang segera melarut di dalam *aquades* mencakup berbagai senyawa organik netral yang mempunyai gugus fungsional polar seperti gula, alkohol, aldehida, dan keton. Kelarutannya disebabkan oleh kecenderungan molekul *aquades* untuk membentuk ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil gula dan alkohol atau gugus karbonil aldehida dan keton (Adani dan Pujiastuti, 2018).



Gambar 2. 3 *Aquades*

### 2.1.8 Sedimentasi Nano Fluida

Sedimentasi merupakan salah satu sifat dari nanopartikel untuk mengendap dari fluida dasar dimana akhirnya mereka terdispersi dan akhirnya berhenti melawan gaya eksternal.

Berdasarkan pada hukum Stokes, maka kecepatan dari sedimentasi akan berkurang ketika ukuran dari nanopartikel semakin mengecil. Sedimentasi serta sentrifugasi merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk menyelidiki stabilitas dari nanofluida karena pengoperasian yang sederhana. Kestabilan dari nanofluida diperlihatkan secara langsung melalui massa atau volume dari sedimen. Nanofluida akan dianggap stabil ketika konsentrasi atau ukuran partikel dalam keadaan yang konstan (Kong dkk., 2017).

### 2.1.9 Sentrifugasi Nano Fluida

Nanofluida merupakan suspensi koloid dari material metal ataupun non-metal yang berukuran nano yang kemudian dicampur ke fluida dasar. Pemanfaatan yang tepat dari nanofluida tergantung pada persiapan dan stabilitasnya. Nanofluida dianggap stabil apabila konsentrasi dari nanopartikel tetap konstan dengan berjalannya waktu. Sedimentasi dari nanofluida berhubungan dengan stabilitas dan dapat dinilai dengan metode sentrifugasi. Sentrifugasi nanofluida merupakan metode yang jauh lebih cepat untuk meninjau stabilitas dari fluida nano yang telah di preparasi. Eksperimen sedimentasi nanofluida akan memakan waktu yang lebih lama karena membutuhkan periode pengamatan yang cukup panjang. Metode sentrifugasi lebih menghemat waktu jika dibandingkan dengan metode fotografi sedimentasi. Sedimentasi berlangsung lebih cepat karena gaya sentrifugal lebih tinggi dari pada gravitasi (Ali dan Salam, 2020).

## 2.2 Preparasi Nanofluida

Preparasi nanofluida dilakukan dengan mencampurkan partikel nano dengan suatu fluida dasar. Berbagai macam studi yang berbeda menggunakan berbagai pendekatan untuk mempelajari proses dari preparasi nanofluida. Pada dasarnya, terdapat dua metode untuk preparasi nanofluida yaitu *Two-step process* dan *Single Step*.

Pendekatan *two-step process*, nanopartikel awalnya akan dibuat dalam bentuk serbuk kering (*dry powder*) oleh gas inert. Kemudian, produk nanopartikel tersebut didispersi kedalam fluida. Pada metode ini dapat menghasilkan aglomerasi dari partikel nano dalam jumlah yang besar.

Pendekatan *Single-step*, pendekatan ini merupakan metode yang kuat untuk mengamati pertumbuhan struktur nano pada berbagai macam logam, semikonduktor, non logam, & sistem *hybrid*. Dalam metode ini, partikel nano yang telah disiapkan dan dicampurkan kedalam fluida dasar secara bersamaan.

Nanofluida yang dibuat melalui pendekatan ini menunjukkan peningkatan konduktivitas termal yang lebih besar dibandingkan metode *two-step* (Gupta dkk., 2018).

Proses preparasi dari nanofluida merupakan hal yang menjadi intensi bagi para peneliti saat ini, mengingat salah satu parameter penting dari nanofluida ialah berbagai parameter yang dapat mempengaruhi sifat termofisik maupun kualitas dari nanofluida serta bagaimana proses preparasi berlangsung. Proses preparasi yang keliru sudah pasti merubah hasil dari kualitas nanofluida yang akan dibuat. Sehingga proses preparasi menjadi sangat penting dalam nanofluida.

### **2.3 Viskositas**

Viskositas merupakan ukuran yang menyatakan kekentalan suatu cairan atau fluida. Kekentalan merupakan sifat cairan yang berhubungan erat dengan hambatan untuk mengalir. Viskositas akan menentukan kecepatan mengalirnya suatu fluida. Semakin mudah suatu fluida untuk mengalir maka dapat dikatakan fluida tersebut memiliki nilai viskositas yang rendah, dan sebaliknya larutan yang sulit mengalir dapat dikatakan memiliki nilai viskositas yang tinggi. Viskositas yang dimiliki oleh setiap zat / fluida sudah pasti berbeda-beda, ini terjadi karena perbedaan konsentrasi dari zat terlarut dalam fluida tersebut. Pada dasarnya, penambahan zat pelarut kedalam suatu fluida akan meningkatkan viskositas dari suatu fluida.dasar (Salam, 2017).

Viskositas fluida merupakan ukuran tahanan fluida terhadap suatu aliran, dimana viskositas merupakan sifat termofisik utama dari fluida khususnya dalam fenomena perpindahan panas secara konvektif dalam suatu aliran fluida. Viskositas merupakan pengukuran dari ketahanan fluida yang berubah terhadap adanya suatu tekanan maupun adanya tegangan yang dapat mempengaruhi fluida. Viskositas merupakan gaya gesek antara molekul-molekul yang menyusun fluida tersebut. Pada fluida, viskositas disebabkan karena adanya gaya kohesi (gaya tarik menarik antara molekul sejenis). Dengan begitu kompleksnya hidrodinamika dari nanofluida yang tersusun karena nanopartikel



yang saling bertabrakan, maka viskositas dari nanofluida merupakan salah satu sifat fisik yang dianggap penting dalam fenomena perpindahan panas (Baghban dkk., 2019).

### 2.3.1 Viskositas Dinamik

Viskositas dinamik merupakan perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besar nilai viskositas dinamik tergantung dari beberapa faktor seperti temperature, konsentrasi larutan, bentuk partikel. Viskositas dinamik tampaknya sama dengan rasio tegangan geser terhadap gradien kecepatan (Wicaksono dkk., 2020).

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (2.1)$$

Dimana,

$\mu$  = Viskositas dinamik (kg/m.s)

$\tau$  = Tegangan geser (N/m<sup>2</sup>)

$du/dy$  = Gradien kecepatan ((m/s)/m)

### 2.3.2 Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik merupakan perbandingan antara viskositas dinamik terhadap massa jenis (*density*) dari fluida tersebut. (Dr. Vladimir, 2019)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.2)$$

Dimana,

$\nu$  = Viskositas kinematik (Stoke)

$\mu$  = Viskositas dinamik (kg/m.s)

$\rho$  = Massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)

### 2.3.3 Viskometer Bola Jatuh

Kekentalan suatu fluida yang dinyatakan melalui besar atau kecilnya gesekan di dalam fluida disebut dengan viskositas. Pada viskositas fluida cair terjadi karena adanya gaya kohesi antar molekul penyusun fluida tersebut. Viskositas identic dengan harga kekentalan atau gaya gesek internal dari fluida tersebut. Viskositas dapat digunakan sebagai aspek yang menentukan kualitas suatu produk dalam dunia industry seperti pelumas, pengolahan minyak, coolant, bahan bakar, serta banyak hal lainnya. Viskometer merupakan alat yang digunakan untuk menentukan nilai dari viskositas. Salah satu viskometer yang sering digunakan ialah *Viscometer Falling Ball*.

*Viscometer Falling Ball* merupakan alat ukur viskositas, dimana waktu yang dibutuhkan oleh bola untuk melewati jarak tertentu akan diukur. Hal ini berdasar pada prinsip Hukum Stokes dan Hukum Newton. Pada prinsipnya penggunaan viskometer ini ialah dengan cara menjatuhkan bola ke sebuah tabung yang berisi sampel fluida yang kemudian nilai viskositas akan diperoleh melalui perhitungan teoritis yang berdasar pada nilai laju dari bola saat menempuh jarak yang telah ditentukan pada suatu fluida (Putri dkk., 2019). Berikut merupakan persamaan dari viskometer bola jatuh:

$$\eta = K (\rho - \rho') t \quad (2.3)$$

Dimana :

$\eta$  = viskositas dinamik (mPa.s)

$t$  = waktu tempuh bola saat jatuh (s)

$\rho$  = massa jenis bola ( g/cm<sup>3</sup>)

$\rho'$  = massa jenis fluida ( g/cm<sup>3</sup>)

$K$  = konstanta bola (mPa.s.cm<sup>3</sup>/g.s)

Karakteristik dari bola yang digunakan ditunjukkan oleh konstanta  $K$ ,  $\rho$ . Berikut merupakan data untuk berbagai macam jenis bola jatuh yang dapat digunakan dalam pengujian viskositas.

Tabel 2. 2 Tabel karakterisasi bola (Gafarot, 1997)

No. Bola	Jenis Material	Kerapatan (g/cm <sup>3</sup> )	Diameter bola (mm)	Konstanta bola (K) mPa.s.cm <sup>3</sup> /g.s
1	boron silica glass	2.2	15.81 ± 0.01	0.007
2	boron silica glass	2.2	15.6 ± 0.05	0.09
<b>3</b>	<b>nickel iron alloy</b>	<b>8.1</b>	<b>15.6 ± 0.05</b>	<b>0.09</b>
4	nickel iron alloy	8.1	15.2 ± 0.1	0.7
5	W.-No. 4034	7.7–8.1	14.0 ± 0.5	4.5
6	W.-No. 4034	7.7–8.1	11.0 ± 1	33

## 2.4 Densitas

Salah satu sifat penting dari suatu zat adalah kerapatan (massa jenisnya) atau dikenal dengan densitas (*density*). Densitas di definisikan sebagai perbandingan antara massa zat terhadap volume zat nya Nilai dari massa jenis bergantung pada jenis zat, tidak bergantung dengan volume ataupun massa dari suatu zat. Sehingga, apabila massa atau volume dari suatu zat itu berbeda dengan yang lain, massa jenisnya akan tetap sama (Mansyla, 2018).

Benda yang memiliki densitas yang besar akan memiliki kerapatan massa yang besar, sehingga semakin besar nilai densitas dari suatu zat, maka semakin rapat antar partikel penyusun dari zat tersebut. Massa jenis merupakan pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu zat, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Nilai densitas banyak digunakan untuk menentukan jenis dari suatu materi (Alim dkk., 2017).

Salah satu parameter penting dalam fenomena perpindahan panas ialah densitas. Apabila nilai dari densitas mengalami kenaikan ketika fluida dasar telah ditambahkan partikel nano, ini berarti bahwa kerapatan dari partikel nano dalam fluida dasar semakin besar sehingga akan meningkatkan nilai dari konduktivitas termal. Densitas pada fluida nano cenderung meningkat seiring

dengan meningkatnya fraksi volume dari partikel nano dan cenderung menurun seiring dengan meningkatnya temperatur (Mahbubul dkk., 2019).

## 2.5 Scanning Electrone Microscope

*Scanning Electrone Microscope* dipahami sebagai teknik yang sesuai yang telah diterima serta diakui oleh komunitas peneliti material dunia. SEM merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis komposisi data kuantitatif unsur yang terkandung didalam sebuah objek. Identifikasi struktur mikro lapisan oksida menggunakan SEM tidaklah hanya pengambilan gambar dan topografi, tetapi harus dilakukan dengan teknik dan metode operasi yang benar mengingat proses pembentukan image pada alat ini merupakan proses fisika yang merupakan interaksi korpuskular antara elektron sumber dengan atom pada bahan. Meskipun sinyal data yang dihadirkan oleh SEM ini terbilang cukup kuat disbanding mikroskop optic atau XRD, tetapi karena pengamatan yang dilakukan oleh SEM ini relatif kecil dan mengandung komponen non-konduktif seperti lapisan pasivasi oksida pada permukaan, SEM dapat memberikan kontras yang relative rendah dengan perbesaran tinggi. Sehingga , SEM harus dioperasikan dengan parameter elektron seperti *high voltage*, *spot size*, *bias*, dan *beam current* (Sujatno dkk., 2017).

*Scanning electrone microscope* banyak dimanfaatkan untuk mengamati struktur morfologi permukaan sampel dalam perbesaran yang tinggi dengan memanfaatkan berkas elektron berenergi tinggi. Pengamatan terhadap berbagai jenis material dengan beragam karakter dan properti fisis yang berbeda dapat dilakukan dengan SEM, namun perlu pertimbangan dan pendekatan yang khusus untuk setiap jenis sampel yang berbeda agar pengamatan menggunakan SEM dapat dilakukan serta mendapatkan hasil yang diinginkan (Adhika dkk., 2019).

## 2.6 Metode Taguchi

Metode Taguchi diperkenalkan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949 saat mendapatkan tugas untuk memperbaiki sistem komunikasi di Jepang. Metode ini merupakan metode pengendalian kualitas sebelum proses berlangsung (*off-line quality control*) yang sangat efektif dalam peningkatan kualitas serta penghematan terhadap biaya maupun waktu. Rekayasa terhadap kualitas yang diusulkan bertujuan untuk performansi produk sehingga tidak sensitif terhadap faktor yang tidak diinginkan (Yuliana dkk., 2017).

Pengendalian kualitas (*off-line quality control*) merupakan suatu system kendali dalam mengatur perusahaan untuk menjaga kualitas serta adanya perbaikan terhadap kualitas dari suatu produk yang diciptakan. Metode Taguchi merupakan suatu metodologi baru dalam bidang teknik yang tujuan dari penggunaannya ialah unttuk memperbaiki kualitas produk yang dihasilkan. Selain itu tujuan utama metode ini ialah menjadikan suatu produk tidak sensitif terhadap variabel gangguan (*noise*), menghemat biaya, waktu, serta sumber daya (Octariani dkk., 2021).

Metode Taguchi dalam nanofluida merupakan DOE (*Design of Experiment*) untuk mempelajari stabilitas serta sifat termofisik dari nanofluida. Penelitian dengan menggunakan Metode Taguchi dalam pengaplikasian termal semakin meningkat karena menawarkan banyak penghematan waktu jika dibandingkan dengan eksperimen penuh. Metode Taguchi digunakan untuk menyelidiki pengaruh preparasi parameter terhadap sifat termofisik dari nanofluida. Metode Taguchi memberikan hasil yang berkualitas dengan penghematan terhadap waktu serta biaya jika dibandingkan dengan teknik pengoptimalisasi lainnya. Metode ini menggunakan perencanaan perencanaan dan peningkatan kualitas dengan melakukan percobaan yang dirancang untuk menemukan faktor utama yang paling dominan dalam memberi efek karakteristik kualitas dalam suatu proses, sehingga variabel karakteristik kualitas dapat dikendalikan (Mane dan Hemadri, 2021).

Metode Taguchi dan ANOVA dilakukan menggunakan software Minitab. Metode Taguchi menggunakan *loss function* untuk mengkalkulasi deviasi antara nilai eksperimental dan nilai yang diinginkan. Metode Taguchi menggunakan *Orthogonal Arrays* yang menawarkan analisis fragmentaris mengenai faktor parameter dan levelnya. Orthogonal array merupakan modifikasi dari desain fractional factorial yang dilengkapi dengan transformasi respon berbentuk Signal to Noise Ratio (S/N) yang merupakan penemuan taguchi yang paling terkenal (Dagdevir dan Ozceyhan, 2021).

### 2.6.1 Orthogonal Array

*Orthogonal array* (OA) adalah salah satu bagian *fractional factorial experiment* (FEE). FEE merupakan percobaan yang menggunakan rancangan faktorial sebagian (tidak lengkap) bahkan mungkin hanya sepertiga, seperdelapan, atau seterusnya. OA dinotasikan sebagai berikut:

$$L_n = (l^f) \quad (2.4)$$

Dimana:

$L$  = Simbol OA

$n$  = jumlah baris

$l$  = jumlah level

$f$  = jumlah faktor

### 2.6.2 Signal to Noise Ratio

Dalam Metode Taguchi, data eksperimental akan diubah ke *Signal to Noise Ratio* (S/N Ratio). Terdapat beberapa rasio S/N bergantung pada kriteria yaitu “*Smaller is better*”, “*Nominal is best*”, “*Larger is better*”. Pendekatan Metode Taguchi bertujuan untuk meminimalkan efek dari parameter yang dapat dikontrol (*noise*) dengan memaksimalkan efek dari parameter yang dapat dikontrol (*Signal*) (Dagdevir dan Ozceyhan, 2021).

SNR merupakan logaritma dari fungsi kerugian kuadratik serta digunakan untuk mengatur kualitas suatu produk yang akan dihasilkan. Berikut merupakan persamaan untuk ketiga jenis karakteristik SNR (Yuliana dkk., 2017).

1. *Nominal is best*

$$SNR = -10\log\left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r (y_i - y_o)^2\right) \quad (2.5)$$

2. *Smaller is better*

$$SNR = -10\log\left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r (y_i)^2\right) \quad (2.6)$$

3. *Larger is better*

$$SNR = -10\log\left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \left(\frac{1}{y_i}\right)^2\right) \quad (2.7)$$

### 2.6.3 Analysis of Variance (ANOVA)

*ANOVA* merupakan model statistik untuk menganalisa hasil dari eksperimen *Orthogonal Array* untuk mengidentifikasi pengaruh relatif dari level kontribusi oleh masing-masing faktor. *ANOVA* merupakan implementasi statistik yang digunakan untuk interpretasi data yang diperoleh dalam sebuah eksperimen. Dengan penggunaan Metode Taguchi, efek dari setiap level parameter proses dapat dibandingkan di antara mereka sendiri. Sedangkan *ANOVA*, berperan dalam menentukan kontribusi setiap parameter proses dalam output yang dihasilkan. Perhitungan analisis variansi pada suatu percobaan ditujukan untuk mengetahui parameter yang berpengaruh serta tidak berpengaruh dalam proses pengujian tersebut. (Mane dan Hemadri, 2021).

Perhitungan terhadap analisis variansi dilakukan dengan menemukan beberapa nilai yang dimulai dengan menentukan nilai *mean* untuk seluruh percobaan sampai dengan menyusun tabel dari analisis variansi. Berikut merupakan *step by step* perhitungan analisis variansi terhadap nilai *mean*:



Gambar 2. 4 Perhitungan *Analysis of Variance*

Menurut (Paulus Wisnu Anggoro, 2019), berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai data-data diatas:

1. Nilai *Mean*

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} \quad (2.8)$$

2. Nilai *Mean* untuk setiap level faktor

$$\bar{\bar{y}} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n} \quad (2.9)$$

3. Nilai *total sum of squares*

$$SS_{total} = \sum y^2 \quad (2.10)$$

4. Nilai *sum squares due to mean*

$$mean(S_m) = n\bar{y}^2 \quad (2.11)$$

5. Nilai *sum of squares due to factors*

$$SS_A = (n_{A1}x\bar{A}1^2) + (n_{A1}x\bar{A}2^2) + (n_{A1}x\bar{A}3^2) - S_m \quad (2.12)$$

6. Nilai *sum of squares due to error*

$$SS_{error} = SS_{total} - S_m - \sum S_j \quad (2.13)$$

7. Nilai derajat kebebasan



$$DF = \text{jumlah level} - 1 \quad (2.14)$$

8. Nilai *mean sum of squares*

$$MS_A = \frac{SS_A}{DF_A} \quad (2.15)$$

9. Nilai Fratio

$$F_A = \frac{MS_A}{M_E} \quad (2.16)$$

10. Nilai *pure sum of squares*

$$SS'_A = SS_A - DF_A \times M_e \quad (2.17)$$

Dimana:

$y$  = nilai pengujian,  $\bar{y}$  = *mean*,  $\bar{y}$  = *mean* setiap level faktor,  $SS_T$  = *sum squares total*,  $S_M$  = *sum squares due to mean*,  $SS_A$  = *sum squares due to factors*,  $n$  = banyak pengujian,  $SS_{error}$  = *sum squares due to error*,  $MS_x$  = *mean sum of squares*,  $DF$  = derajat kebebasan,  $SS'_x$  = *pure sum of squares*.

Setelah perhitungan terhadap analisis variansi dilakukan mengikuti persamaan diatas untuk seluruh level faktor dari parameter yang telah ditentukan, selanjutnya ialah menyusun tabel dari analisis variansi yang kemudian dapat ditentukan faktor manakah yang memiliki pengaruh signifikan maupun tidak signifikan terhadap respon yang akan dihasilkan.

#### 2.6.4 Selang Kepercayaan

Setelah suatu percobaan dilakukan, hal penting selanjutnya untuk dilakukan ialah menentukan rata-rata proses pada sebuah keadaan yang dapat diprediksi. Prediksi merupakan sebuah nilai estimasi. Selang kepercayaan merupakan nilai antara minimum dan maksimum dimana nilai dari rata-rata eskeperimen validasi seharusnya berada atau terletak pada nilai dari selang kepercayaan yang telah diprediksi (Paulus Wisnu Anggoro, 2019). Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan selang kepercayaan:

1. *Confident Level*

$$Cl_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha;v1;v2} \times MS_e \times \frac{1}{neff}}$$

(2.18)

## 2. Selang Kepercayaan

$$\mu_{perkiraan} - Cl_{mean} \leq \mu_{perkiraan} \leq \mu_{perkiraan} + Cl_{mean}$$

(2.19)

Dimana:

$Cl_{mean}$  = *confident Level*

$\mu_{perkiraan}$  = dugaan rerata

$neff$  = jumlah eksperimen dibagi derajat kebebasan total untuk *mean*

## 2.7 Review Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang dilakukan oleh Mukesh Kumar dkk (2020) tentang *Stability Analysis of Heat Transfer Hybrid / Aquades Nanofluids*. Penelitian dilakukan dengan menggunakan fluida dasar berupa *aquades* dan *hybrid* partikel nano yakni  $Al_2O_3-SiO_2$  dengan fraksi volume 0,2%;0,4%;0,6%. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa nanofluida dengan fraksi volume 0,4% dan 0,6% memiliki stabilitas yang baik, hal ini dibuktikan dengan kondisi dari nano fluida tetap berada pada kondisi statis setelah di lakukan pengujian stabilitas dengan metode sedimentasi selama 4 minggu. Fluida nano pada fraksi volume 0,2% memiliki stabilitas yang rendah, hal ini terjadi karena rendahnya volume dari nano partikel yang digunakan sehingga cenderung mudah untuk terjadinya aglomerasi (Mukesh Kumar dkk., 2020).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Zhang dkk (2021) tentang *The Changes Induced by pH in TiO<sub>2</sub>/Water nanofluids: Stability, Thermophysical properties and Thermal Performance*. Penelitian dilakukan dengan menggunakan fluida dasar berupa air dan partikel nano  $TiO_2$  dengan fraksi volume 0,4%;0,8%;1,2%;1,6%;2%. Viskositas dinamik dari fluida nano  $TiO_2$ /Air ini diuji pada variasi temperature 25-60°C dan menunjukkan bahwa nilai dari viskositas dinamik akan menurun seiring dengan meningkatnya

temperature dari nanofluida. Sedangkan nilai dari viskositas dinamik akan meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume dari nanopartikel (Zhang dkk., 2021).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Mehrli dkk (2018) tentang *Heat Transfer and Entropy Generation for Laminar Forced Convection Flow of Graphene Nanoplatelet Nanofluids in a Horizontal Tube*. Penelitian dilakukan dengan fluida dasar berupa Air dan partikel nnao berupa *Graphene Nanoplatelet* dengan fraksi volume 0,025%;0,05%;0,075%;0,1%. Pengamatan terhadap stabilitas dari fluida nano dilakukan dengan metode sedimentasi dan sentrifugasi. Sentrifugasi dilakukan dalam 3 variasi waktu yakni 5,10, dan 20 menit pada kecepatan 6000rpm. Terdapat endapan yang sangat sedikit pada pengamatan terhadap stabilitas melalui metode sentrifugasi yang dilakukan hingga 20 menit (Mehrli dkk., 2018).

Pada penelitian yang dilakukan Septiadi dkk (2019) tentang Fenomena Pendidihan Sumbu Kapiler Pipa Kalor berbasis Sintered Powder Tembaga pada Fluida Kerja *Hybrid* Nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{TiO}_2$ -  $\text{H}_2\text{O}$ . Penggunaan *hybrid* nanofluida pada komposisi 70%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 30%  $\text{TiO}_2$  telah meningkatkan koefisien perpindahan panas sebesar 221% jika dibandingkan dengan *distilled water*. Sedangkan pada penggunaan *hybrid* nanofluida pada fraksi volume yang sama tetapi memiliki perbandingan massa yang berbeda dapat mempengaruhi koefisien perpindahan panas yang cukup signifikan (Septiadi dkk., 2019).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Asadi dkk (2020) tentang *An Experimental Study on Characterization, Stability and Dynamic Viscosity of CuO-TiO<sub>2</sub>/Water Hybrid Nanofluid*. Penelitian menggunakan partikel nano *Hybrid*  $\text{CuO}$  -  $\text{TiO}_2$  dengan fraksi volume 0%-1%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai dari viskositas dinamik akan terus meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume dari partikel nano yang digunakan. Viskositas dinamik maksimum dari penelitian ini ditunjukkan pada fraksi volume 1% dan pada temperatur 25°C (Asadi dkk., 2020).

Tabel 2. 3 Studi literatur

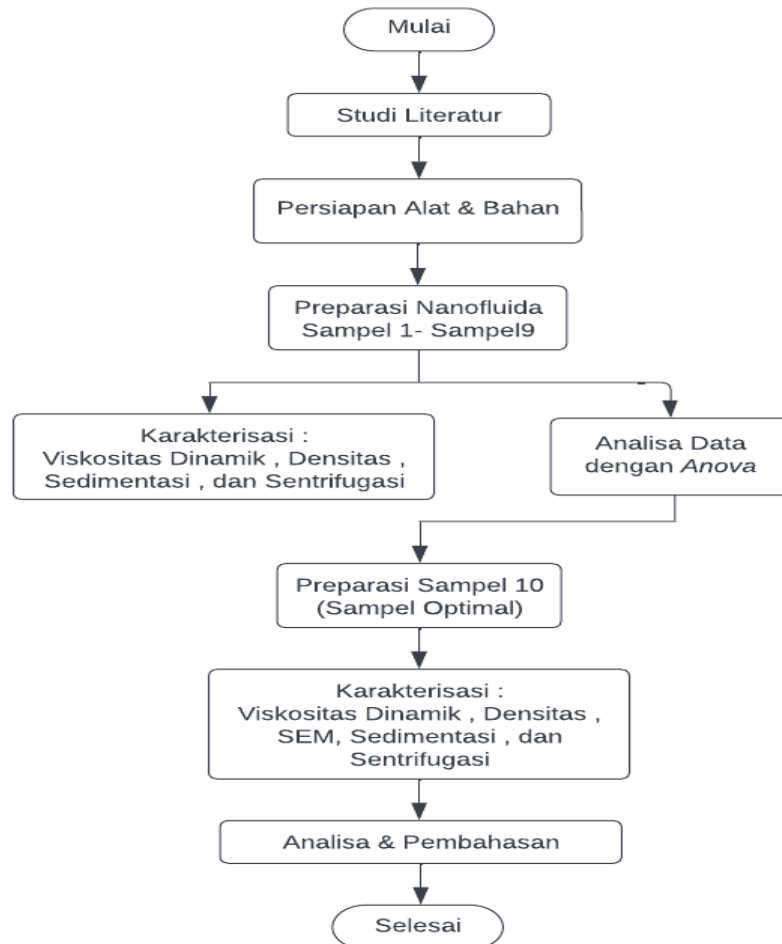
Penulis	Tahun	Hasil
P.C. Mukesh Kumar a, dkk.	2020	Nanofluida dengan fraksi volume 0,2% memiliki stabilitas yang sangat rendah, pada fraksi volume 0,4% memiliki kestabilan yang sedang, dan nanofluida dengan fraksi volume 0,6% memiliki stabilitas yang terbaik.
Hao Zhang, Shan Qing, dkk.	2021	Viskositas dinamik dari nanofluida akan meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume dari partikel nano yang digunakan. Sementara itu, dengan meningkatnya suhu dari nanofluida maka nilai dari viskositas dinamik akan semakin turun.
M. Mehrali, dkk.	2018	Pengamatan terhadap stabilitas fluida nano menggunakan metode sentrifugasi pada 5,10, dan 20 menit. Evaluasi terhadap stabilitas dianggap memuaskan pada waktu 20 menit & kecepatan putaran 6000rpm.
Wayan Nata Septiadi, dkk.	2019	Penggunaan Hybrid Nanofluida $Al_2O_3 - TiO_2$ dan <i>Aquades</i> dengan rasio nano partikel 70%-30% meningkatkan koefisien perpindahan panas sebesar 221%.
Amin Asadi, dkk.	2020	Nilai maksimum dari viskositas dinamik berada pada penggunaan fraksi volume partikel nano sebesar 1% dan pada temperatur 25°C.

# BAB 3

## METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan proses yang akan dilakukan dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

## 3.2 Persiapan Bahan dan Alat

### 3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan spesifikasi hasil Pengujian Kadar Logam 99%.
2. Nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan spesifikasi hasil Pengujian Kadar Logam 99%.
3. Air murni / *aquades* dengan tingkat kemurnian 100%

### 3.2.2 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat seperti gambar dibawah :

Tabel 3. 1 Alat penelitian



*Centrifuge*



*Magnetic Stirrer*



Timbangan Analistis



Gelas Beaker



Viskometer *Falling Ball*



*Ultrasonic Cleaner*



SEM



Piknometer

### 3.3 Matriks Penelitian

Eksperimen kali ini akan menghasilkan data. Data – data yang telah didapat disusun untuk kemudian diolah untuk mengkalkulasi viskositas dan densitas. Selanjutnya data hasil perhitungan disusun dalam bentuk tabee dan diolah lebih lanjut menggunakan metode Taguchi. Pembuatan nanofluida pada penelitian ini menggunakan variabel control (*control factors*) yaitu fraksi volume, *ratio* nanopartikel, *stirring time* menggunakan *magnetic stirrer*, serta *sonication time* menggunakan *ultrasonic cleaner* dengan masing-masing variabel dilakukan tiga variasi proses (3 level). Berdasarkan pada pedoman Taguchi Orthogonal Array (Cimbala, 2014), maka akan digunakan Matriks Orthogonal Array berupa matriks  $L_9$  ( $3^4$ ). Berikut merupakan tabel variabel dan variasi Metode Taguchi.

Tabel 3. 2 Tabel variabel dan variasi metode taguchi

Control Factors	Variasi		
	Level 1	Level 2	Level 3
Fraksi Volume	0,2%	0,4%	0,6%
Ratio Nanopartikel	70% $Al_2O_3$ - 30% $TiO_2$	50% $Al_2O_3$ - 50% $TiO_2$	30% $Al_2O_3$ - 70% $TiO_2$
<i>Stirring Time</i>	30 Menit	60 Menit	90 Menit
<i>Sonication Time</i>	60 Menit	90 Menit	120 Menit

Berdasarkan pada *control factors* serta level yang terdapat pada tabel 3.1, maka dapat dibuat matrik *Orthogonal Array* sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Matrik orthogonal array dan distribusi faktor

No	Faktor Kontrol				Pengujian			Rata-rata
	Fraksi Volume (%)	Ratio Nanopartikel (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiO <sub>2</sub> )	Stirring Time (Menit)	Sonication Time (Menit)	1	2	3	
1	0,2	70%-30%	30	60				
2	0,2	50%-50%	60	90				
3	0,2	30%-70%	90	120				
4	0,4	70%-30%	60	120				
5	0,4	50%-50%	90	60				
6	0,4	30%-70%	30	90				
7	0,6	70%-30%	90	90				
8	0,6	50%-50%	30	120				
9	0,6	30%-70%	60	60				

### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Proses Pembuatan Nanofluida

Pembuatan nanofluida dilakukan dengan metode *single-step*, kemudian partikel nano *hybrid* Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> yang telah ditimbang dengan timbangan analitis dicampur dengan fluida dasar berupa air murni / *aquades*. Setelah itu dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* sesuai dengan waktu yang telah ditentukan, kemudian dilakukan vibrasi dengan sistem ultrasonic menggunakan alat *ultrasonic cleaner* sesuai dengan waktu yang telah ditentukan pada Tabel 3.2.

#### 3.4.2 Proses Perhitungan Massa Nanopartikel

Proses perhitungan massa nanopartikel yang akan digunakan dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.



## Perhitungan Massa Nanopartikel

$$\varphi = \frac{V_{np}}{V_{np}+V_{bf}} \times 100 \quad (3.1)$$

dimana :

$V_{np}$  = Volume Nanopartikel

$V_{bf}$  = Volume fluida dasar (Aquadess)

$\varphi$  = Fraksi Volume

$\rho \text{ Al}_2\text{O}_3$  = 3950 kg/m<sup>3</sup>

$\rho \text{ TiO}_2$  = 4230 kg/m<sup>3</sup>

Dengan mengacu pada perhitungan massa nanopartikel berdasarkan pada persamaan 3.1, berikut merupakan tabel hasil perhitungan massa nanopartikel yang akan digunakan.

Tabel 3. 4 Tabel perbandingan massa nanopartikel

Fraksi Volume (%)	Volume Aquades (ml)	Massa Nanopartikel (gram)					
		70% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30% TiO <sub>2</sub>	50% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50% TiO <sub>2</sub>	30% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	70% TiO <sub>2</sub>
0,2	250	1,3825	0,6345	0,9875	1,0575	0,5925	1,4805
0,4	250	2,765	1,269	1,975	2,115	1,185	2,961
0,6	250	4,1475	1,9035	2,9625	3,1725	1,7775	4,4415

### 3.4.3 Karakterisasi Nanofluida Aquades/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>

#### 3.4.3.1 Pengujian Densitas

Prinsip dari pengukuran densitas menggunakan piknometer adalah dengan cara mengukur massa dari zat cair kemudian dibandingkan dengan volume dari piknometer tersebut. Berikut merupakan langkah pengujian densitas:

1. Piknometer dicuci dengan Aquades kemudian dikeringkan
2. Piknometer kosong ditimbang menggunakan timbangan analitis.
3. Nanofluida dituangkan ke piknometer kemudian ditimbang menggunakan timbangan analitis

4. Perhitungan densitas nanofluida dengan mengurang massa dari piknometer yang berisi nanofluida dan piknometer kosong kemudian dibagi dengan volume dari piknometer.

#### **3.4.3.2 Pengujian Viskositas**

Prinsip kerja pengukuran viskometer bola jatuh adalah mengukur waktu tempuh bola pejal yang dijatuhkan secara vertical dalam sebuah tabung gelas yang berisi cairan dalam keadaan diam. Berikut merupakan langkah pengujian viskositas:

1. Nanofluida dituang ke alat viskometer falling ball dan pastikan tidak ada gelembung udara.
2. Masukkan bola pengukur viskositas ke dalam tabung viskometer yang telah terisi nanofluida.
3. Viskometer kemudian dibalik untuk mengamati pergerakan bola.
4. Waktu yang dibutuhkan oleh bola untuk jatuh ke batas tertentu yang telah ditentukan diukur dengan stopwatch.
5. Nilai dari viskositas akan diperoleh dengan menggunakan persamaan viskometer falling ball.

#### **3.4.3.3 Pengamatan Sedimentasi**

Berikut merupakan langkah pengamatan sedimentasi:

1. Nanofluida yang telah di preparasi, dituang ke botol plastik bening sebanyak 100 ml.
2. Botol plastik bening yang telah berisi sampel nanofluida kemudian diletakkan di tempat dengan penerangan yang baik dan terhindar dari guncangan atau gangguan lainnya.
3. Stabilitas dari nanofluida diamati melalui botol plastik bening yang telah berisi sampel nanofluida tersebut, diamati proses sedimentasinya selama

28 hari dan kemudian diambil gambar dari proses sedimentasi tersebut per 7 hari.

#### **3.4.3.4 Pengamatan Sentrifugasi**

Berikut merupakan langkah pengamatan sentrifugasi:

1. Nanofluida yang telah di preparasi, dituang ke tabung centrifuge 15ml sebanyak 10ml.
2. Tabung centrifuge yang telah berisi sampel nanofluida dimasukkan ke alat Centrifuge CL-08 yang kemudian diputar dengan kecepatan 4000 rpm pada waktu 20 menit.
3. Selanjutnya, tabung centrifuge dikeluarkan dari alat Centrifuge CL-08
4. Stabilitas dari nanofluida dapat diamati dan kemudian diambil gambar dari hasil proses sentrifugasi tersebut.

#### **3.4.3.5 Pengamatan SEM (Scanning Electron Microscopy )**

Scanning electron microscopy merupakan alat untuk mengamati struktur mikro pada permukaan suatu bahan yang akan di analisa serta memberikan informasi komposisi kimia pada material yang akan dianalisis. Teknik SEM harus menggunakan lensa magnetic agar lebih fokus dan terkontrol pada saat pengamatan dilakukan. Prinsip kerja SEM ialah dengan memindai permukaan spesimen dengan memfokuskan berkas elektron untuk mendapatkan gambar kedalam area yang dapat mencapai orde puluhan mikrometer pada perbesaran 250 hingga 10.000 kali sehingga struktur morfologi dan topografi dapat diamati. Pengujian SEM nanofluida dilakukan dengan menggunakan alat *Scanning Electrone Microscopy* di Unit Pelaksana Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung

### 3.5 Analisa dan Pengolahan Data

Tabel 3. 5 Data pengujian

Nama Sampel	Pengujian				
	Sedimentasi	Sentrifugasi	Densitas	Viskositas	SEM
Aquades	-	√	√	√	-
Sampel 1-9	√	√	√	√	-
Sampel Optimal	√	√	√	√	√
Radiator Coolant Master	-	-	√	√	-

## BAB 4

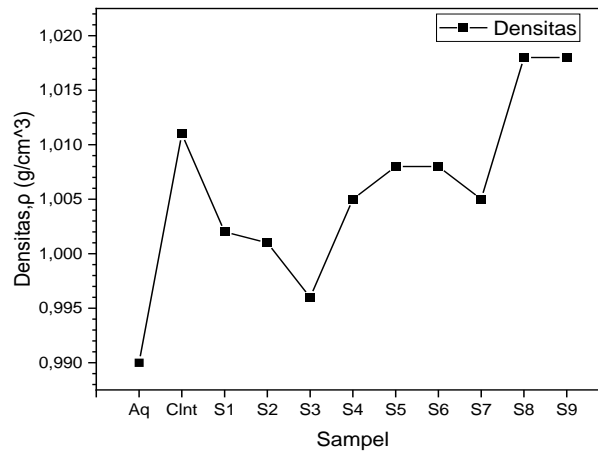
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengujian Densitas

Pengujian Densitas dilakukan di Laboratorium Mekanika Desain dan Terapan Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya. Pengujian densitas dilakukan untuk mendapatkan nilai massa jenis dari berbagai variasi nanofluida yang telah dibuat dalam eksperimen, dengan mengacu pada persamaan perbandingan massa dan volume. Berikut merupakan hasil perhitungan densitas nanofluida.

Tabel 4. 1 Hasil pengujian densitas

No	Sampel	Densitas, $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )			
		$\rho_1$	$\rho_2$	$\rho_3$	$\bar{X}$
1	Aquades	0,989	0,993	0,99	0,99
2	Coolant	1,001	1,022	1,011	1,011
3	S1	1,005	1,004	0,997	1,002
4	S2	0,985	1,014	1,005	1,001
5	S3	0,98	1,015	1,015	0,996
6	S4	0,986	1,015	1,015	1,005
7	S5	0,996	1,015	1,015	1,008
8	S6	0,996	1,015	1,015	1,008
9	S7	0,979	1,015	1,021	1,005
10	S8	1,009	1,032	1,022	1,018
11	S9	1,005	1,027	1,024	1,018



Gambar 4. 1 Grafik densitas

Berdasarkan pada hasil pengujian densitas, terlihat bahwa sampel 8 dan sampel 9 dari nanofluida memiliki nilai densitas tertinggi dibandingkan dengan sampel lainnya, hal ini terjadi karena pada sampel 8 dan sampel 9 nanofluida menggunakan fraksi volume nanopartikel tertinggi yakni 0,6%. Sementara itu sampel 3 memiliki nilai densitas yang paling rendah yaitu pada angka 0,996 g/cm<sup>3</sup>. Hal ini terjadi karena penggunaan fraksi volume nanopartikel yang rendah pada sampel ke 3 yaitu 0,2%. Berdasarkan pada gambar 4.1 terlihat bahwa nilai dari densitas cenderung meningkat dengan bertambahnya fraksi volume dari nanopartikel yang digunakan.

#### 4.2 Hasil Pengujian Viskositas

Pengujian Viskositas dilakukan di Laboratorium Eksperimen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Pengujian viskositas dilakukan untuk mendapatkan nilai kekentalan fluida dari berbagai variasi nanofluida yang telah dibuat dalam eksperimen. Pengujian viskositas dari nanofluida dilakukan pada 3 variasi temperatur untuk meninjau pengaruh temperatur terhadap viskositas dari nanofluida, dengan mengacu pada persamaan viskometer bola jatuh. Berikut merupakan hasil perhitungan dari Viskositas.

- Contoh Perhitungan Viskositas

- ✓ **Aquades**

Dik:

- $K = 0,09 \text{ mPa.s.cm}^3 / \text{g.s}$
- $\rho = 8,1 \text{ g/cm}^3$
- $\rho' = 0,989 \text{ g/cm}^3$
- $t = 3,44 \text{ s}$

$$\eta = K (\rho - \rho') t$$

$$\eta = 0,09 \frac{\text{MPa.s.cm}^3}{\text{g.s}} (8,1 - 0,989) \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 3,44 \text{ s}$$

$$\eta = 2,2015 \text{ mPa.s} = 2,2015 \text{ cP}$$

Setelah seluruh sampel uji yang telah dipreparasi dihitung sesuai dengan contoh perhitungan diatas, maka selanjutnya menyusun hasil perhitungan, dalam bentuk tabel dan akan didapatkan grafik dari viskositas. Berikut merupakan tabel nilai viskositas serta grafik viskositas nanofluida pada suhu ruangan 28°C, 50 °C, dan 93.5 °C.

Tabel 4. 2 Data nilai viskositas pada suhu 28°C

No	Sampel	Waktu Bola Jatuh, t(s)			Viskositas, $\eta$ (cP)			$\bar{x}$
		t1	t2	t3	$\eta1$	$\eta2$	$\eta3$	
1	Aquades	3,44	3,1	3	2,202	1,983	1,945	2,043
2	Coolant	3,68	3,5	3,7	2,351	2,242	2,329	2,307
3	S1	3,63	3,2	3,2	2,318	2,037	2,071	2,142
4	S2	3,64	3,3	3,5	2,308	2,13	2,209	2,223
5	S3	3,64	3,6	3,6	2,339	2,302	2,308	2,317
6	S4	3,59	3,4	3,5	2,299	2,194	2,445	2,312
7	S5	3,66	3,4	3,6	2,34	2,168	2,27	2,259
8	S6	3,51	3,4	3,4	2,244	2,149	2,181	2,191
9	S7	3,26	3,5	3,5	2,202	2,225	2,219	2,215
10	S8	3,3	3,4	3,4	2,108	2,176	2,153	2,146
11	S9	3,37	3,4	3,6	2,152	2,177	2,305	2,211

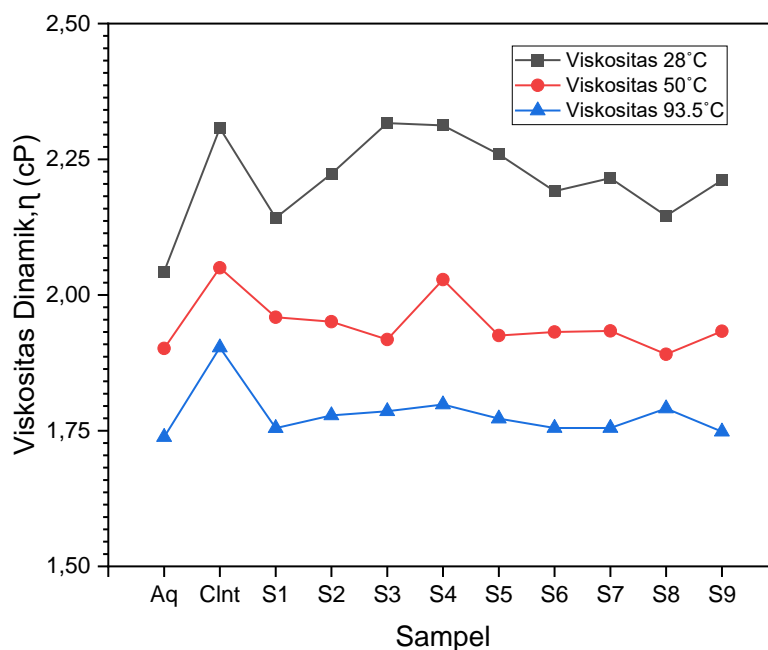
Tabel 4. 3 Data nilai viskositas pada suhu 50°C

No	Sampel	Waktu Bola Jatuh, t(s)			Viskositas, $\eta$ (cP)			$\bar{x}$
		t1	t2	t3	$\eta_1$	$\eta_2$	$\eta_3$	
1	Aquades	2,95	3	3	1,888	1,922	1,894	1,901
2	Coolant	3,22	3,2	3,2	2,058	2,058	2,035	2,05
3	S1	3,13	3	3,1	1,999	1,922	1,956	1,959
4	S2	3,06	3,1	3,1	1,959	1,945	1,948	1,951
5	S3	3,04	3	3	1,954	1,888	1,913	1,918
6	S4	3,23	3,1	3,2	2,068	2,002	2,015	2,028
7	S5	3,11	3	3	1,988	1,887	1,9	1,925
8	S6	3,15	2,9	3	2,014	1,862	1,919	1,932
9	S7	3,08	3	3	1,971	1,894	1,937	1,934
10	S8	3,01	2,9	3	1,923	1,851	1,898	1,891
11	S9	3,08	3	3	1,967	1,91	1,923	1,933

Tabel 4. 4 Data nilai viskositas pada suhu 93.5°C

No	Sampel	Waktu Bola Jatuh, t(s)			Viskositas, $\eta$ (cP)			$\bar{x}$
		t1	t2	t3	$\eta_1$	$\eta_2$	$\eta_3$	
1	Aquades	2,76	2,7	2,7	1,766	1,7142	1,7341	1,7382
2	Coolant	3	2,9	3	1,917	1,8728	1,9204	1,9033
3	S1	2,79	2,7	2,8	1,782	1,7243	1,7579	1,7546
4	S2	2,7	2,9	2,8	1,729	1,8175	1,7879	1,7781
5	S3	2,79	2,8	2,8	1,793	1,7729	1,7917	1,7858
6	S4	2,59	2,8	2,9	1,658	1,9129	1,8236	1,7982
7	S5	2,77	2,8	2,8	1,771	1,7726	1,7726	1,7721
8	S6	2,71	2,8	2,7	1,733	1,7981	1,7344	1,755
9	S7	2,64	2,8	3	1,69	1,8109	1,7647	1,755
10	S8	2,77	2,8	2,9	1,77	1,7811	1,8218	1,7909
11	S9	2,66	3	2,9	1,699	1,7123	1,834	1,7483





Gambar 4. 2 Grafik viskositas

Data viskositas pada gambar 4.2 diukur pada suhu 28°C, 50°C, dan 93.5°C menunjukkan bahwa suhu dan viskositas dari nanofluida memiliki hubungan yang berbanding terbalik, yang berarti semakin tinggi suhu dari nanofluida maka semakin rendah viskositas dinamik dari nanofluida. Hal tersebut terjadi karena ketika suhu dari nanofluida meningkat maka partikel yang berada dalam nanofluida akan mengalami pergerakan yang semakin cepat. Serta, berdasarkan pada penelitian ini menunjukkan hasil yang sama dengan penelitian terdahulu yang mana viskositas dari nanofluida akan berkurang seiring dengan meningkatnya suhu dari nanofluida.

Berdasarkan pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa viskositas nanofluida mulai dari sampel 1 sampai dengan sampel 9 memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan viskositas dari fluida dasarnya yaitu *aquades*. Hal ini terjadi karena adanya penambahan partikel nano yang merubah viskositas dari fluida dasar berupa *aquades* tersebut. Data dari viskositas menunjukkan sampel ke 3 memiliki viskositas tertinggi pada angka 2,3165cP jika dibandingkan dengan sampel lainnya, hal ini terjadi karena pada sampel ke 3 ini proses mencampur partikel nano dan fluida dasar dengan alat *magnetic stirrer* dan sistem vibrasi

dengan alat *ultrasonic cleaner* berada pada proses waktu yang paling lama yakni 90 menit dan 120 menit. Sebagai pembanding, penulis juga melakukan uji viskositas pada Coolant Radiator Master. Bila dibandingkan dengan nanofluida pada sampel 1-9, terlihat bahwa Coolant Radiator Master ini memiliki kemampuan yang lebih baik untuk mempertahankan viskositasnya ketika diuji pada suhu yang lebih tinggi.

#### 4.2.1 Nilai Viskositas Kinematik Pada Suhu 50°C dan 93.5°C Serta Nilai Indeks Viskositas

Nilai Viskositas Kinematik didapatkan dengan menggunakan perbandingan antara viskositas dinamik dengan densitas dari nanofluida. Dengan mengacu pada persamaan 2.2. Berikut merupakan hasil perhitungan viskositas kinematik dan indeks viskositas dari nanofluida.

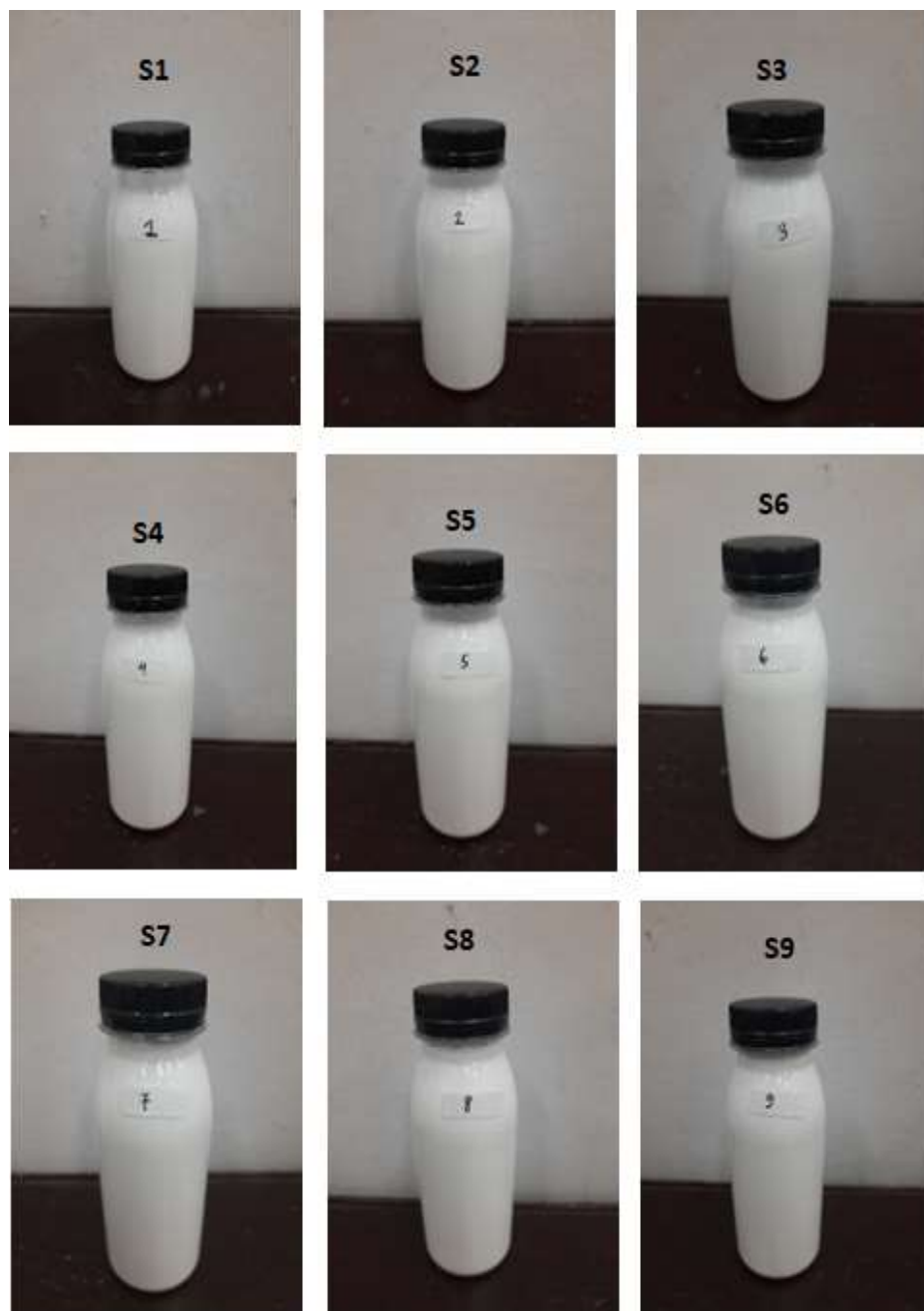
Tabel 4. 5 Data viskositas kinematik dan indeks viskositas

Sampel	Densitas	Viskositas Kinematik		Indeks Viskositas
		50°C	93.5°C	
S1	1,002	1,95509	1,75110	7.886,604
S2	1,001	1,94905	1,77632	7874,548
S3	0,996	1,92570	1,79297	8186,949
S4	1,005	2,01791	1,78925	6811,110
S5	1,008	1,90972	1,75804	8649,409
S6	1,008	1,91667	1,74107	8618,041
S7	1,005	1,92438	1,74627	8445,949
S8	1,018	1,85756	1,75923	9680,096
S9	1,018	1,89882	1,71739	9121,101

### 4.3 Evaluasi Stabilitas Nanofluida

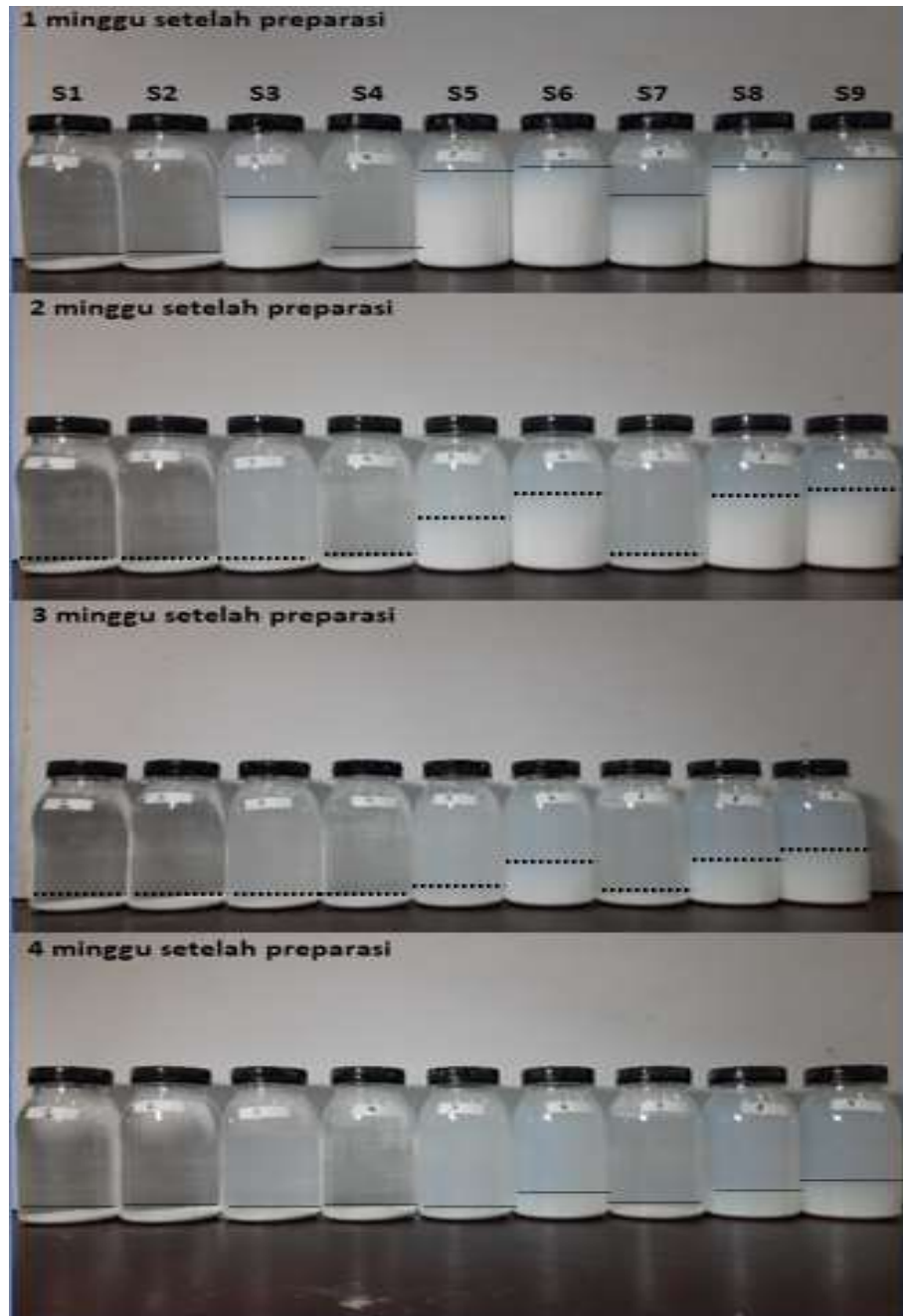
#### 4.3.1 Evaluasi Stabilitas Nanofluida dengan Metode Sedimentasi

Proses sedimentasi untuk meninjau stabilitas dari nanofluida dilakukan selama 4 minggu/28 hari. Berikut merupakan hasil fotografi sedimentasi dari nanofluida sampel 1 sampai dengan sampel 9:



Gambar 4. 3 Foto sampel nanofluida1-9 (2 menit setelah preparasi)

Gambar 4.3 menunjukkan sampel nanofluida dari sampel 1 hingga sampel ke 9. Gambar diambil sesaat setelah preparasi selesai dilakukan atau diperkirakan sekitar 2 menit setelah preparasi dilakukan. Berdasarkan pada gambar ini terlihat sampel nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{Aquadess}$  ini berwarna putih pekat. Selanjutnya, sampel nanofluida ini diamati proses sedimentasinya selama 28 hari. Berikut merupakan foto hasil sedimentasi sampai dengan 28 hari:



Gambar 4. 4 Foto sedimentasi sampel nanofluida (1– 4 minggu setelah preparasi)

Berdasarkan pada gambar sedimentasi diatas, dapat dilihat bahwa terjadinya proses pengendapan setelah setelah dilakukannya proses pencampuran antara nanopartikel *hybrid*  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$  dan fluida dasar berupa *aquades*. Hasil endapan sampel nanofluida diatas ditandai dengan garis putus-putus yang telah dibentuk. Berdasarkan pada garis tersebut terlihat bahwa banyaknya hasil endapan dari sampel 1-9 nanofluida berbeda-beda. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan parameter dalam proses preparasi setiap sampel.

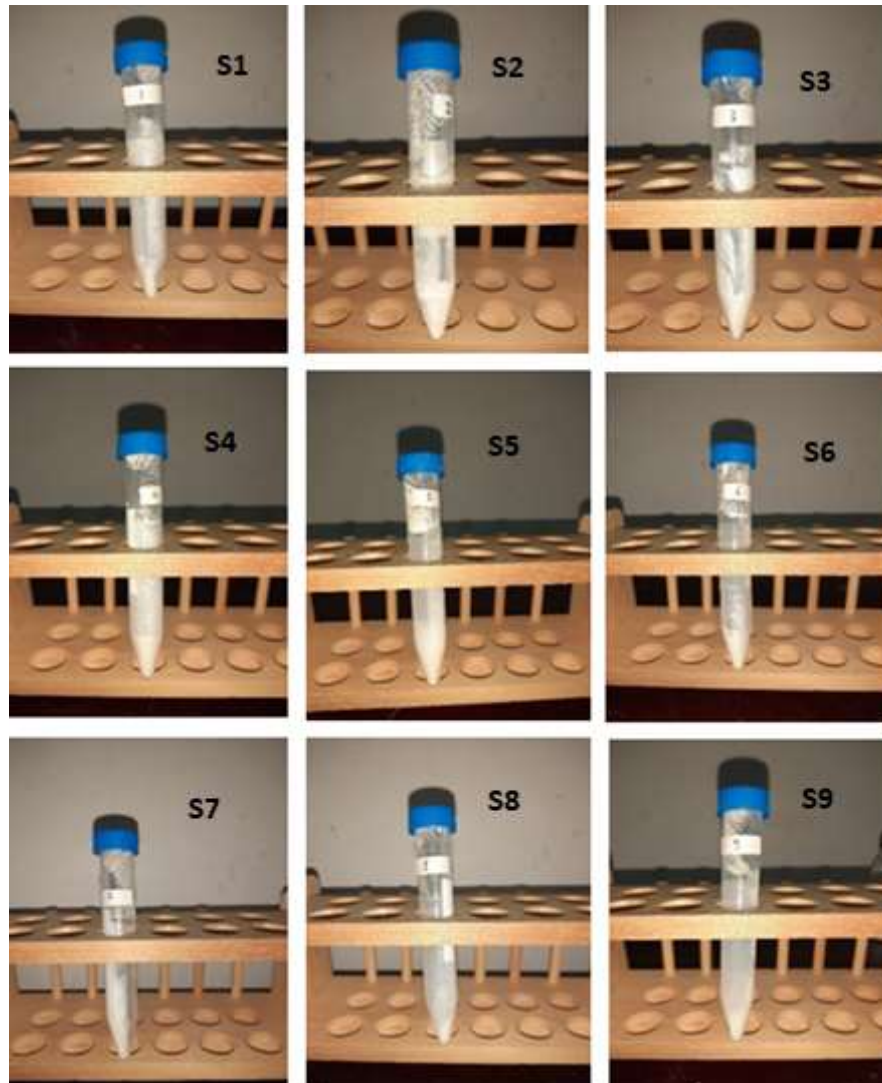
Pada minggu pertama setelah preparasi. Sampel 1, sampel 2, dan sampel 4 terlihat memiliki stabilitas yang paling buruk karena nanopartikel terlihat terpisah dari fluida dasarnya yaitu *aquades*. Hal ini terlihat jelas pada gambar 4.4 dimana endapan yang terbentuk pada sampel 1, 2, dan 4 ini mengendap seluruhnya secara langsung ke dasar dari botol yang digunakan untuk mengamati proses sedimentasi serta fluida yang terdapat diatas endapan terlihat bening seperti *aquades* tanpa campuran nanopartikel. Hal ini menunjukkan bahwa sampel nanofluida 1, 2, dan 4 tidak tercampur dengan baik. Sementara itu, pada sampel 5, 6, 8, dan 9 terlihat memiliki stabilitas yang tinggi karena terlihat nanopartikel serta fluida dasar tercampur dan tidak dengan cepat membentuk endapan serta mampu mempertahankan stabilitasnya. Hal ini sejalan dengan definisi stabilitas dari nanofluida dimana nanofluida dinyatakan stabil apabila konsentrasi atau ukuran partikel dalam keadaan tetap atau konstan (Kong et al., 2017).

Pada 4 minggu setelah preparasi, endapan yang terbentuk terlihat hampir merata pada seluruh sampel nanofluida, kecuali pada sampel 6, 8, dan 9. Pada sampel 7, 8, dan 9 terlihat fluida diatas hasil endapan lebih keruh dibandingkan dengan sampel lainnya, hal ini terjadi karena penggunaan fraksi volume sebesar 0,6% yang lebih tinggi dibandingkan sampel 1-6. Penggunaan fraksi volume yang digunakan serta ratio nanopartikel terlihat berpengaruh terhadap stabilitas dari nanofluida. Sampel 9 dapat dikatakan memiliki stabilitas terbaik yang mana menggunakan fraksi volume 0,6% serta ratio nanopartikel 30%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 70%  $\text{TiO}_2$ . Sedangkan pada sampel 1 yang memiliki stabilitas terburuk menggunakan fraksi volume sebesar 0,2% dan ratio nanopartikel 70%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -

30% TiO<sub>2</sub>. Berdasarkan hal ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan fraksi volume 0,6% serta penggunaan nanopartikel TiO<sub>2</sub> yang lebih banyak dibandingkan nanopartikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat meningkatkan stabilitas dari fluida nano yang dibuat.

#### 4.3.2 Evaluasi Stabilitas Nanofluida dengan Metode Sentrifugasi

Metode sentrifugasi dari nanofluida merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengevaluasi stabilitas dari nanofluida. Proses sentrifugasi dilakukan dengan menggunakan kecepatan putaran sebesar 4000rpm dalam waktu 20 menit.



Gambar 4. 5 Foto hasil sentrifugasi nanofluida

Gambar 4.5 menunjukkan hasil sentrifugasi dari nanofluida sampel 1 sampai dengan sampel 9, terlihat hasil dari sampel 1 sampai dengan sampel 9 menghasilkan jumlah endapan yang bervariasi. Berdasarkan pada gambar, sampel 8 dan sampel 9 menghasilkan endapan yang paling sedikit dan fluida yang terdapat pada atas endapan terlihat berwarna putih keruh. Pada sampel lainnya, terlihat memiliki jumlah endapan yang tidak jauh berbeda jika dibandingkan dengan sampel 8 dan sampel 9, tetapi stabilitas dari nanofluida dapat diamati melalui warna dari fluida yang terdapat diatas endapan yang mana terlihat lebih bening jika dibandingkan dengan sampel 8 dan sampel 9 nanofluida. Hal ini menunjukkan bahwa sampel 8 dan sampel 9 nanofluida memiliki stabilitas yang paling baik dan menunjukkan hasil yang sama dengan pengamatan melalui metode sedimentasi yang dilakukan selama 28 hari.

#### **4.4 Metode Taguchi**

Data densitas dan viskositas yang telah didapatkan selanjutnya akan dilakukan tahap analisis menggunakan perhitungan statistik atau dikenal dengan *Analysis of Variance* (ANOVA) yang bertujuan untuk mengetahui parameter desain yang signifikan berpengaruh maupun tidak signifikan berpengaruh untuk mempengaruhi karakteristik kualitas dari nanofluida. *Analysis of Variance* (ANOVA) diolah dengan mencari nilai yang akan mempengaruhi setiap faktor kontribusi yaitu ANOVA terhadap nilai dari *mean*. Untuk *Signal to Noise Ratio* (SNR) digunakan karakteristik *Large the Better* yakni semakin besar nilai dari viskositas dan densitas nanofluida yang didapatkan maka semakin optimal nanofluida yang akan dihasilkan.

##### **4.4.1 Perhitungan Nilai *Mean* dan SNR pada Densitas**

Dengan mengacu pada persamaan 2.7 dan 2.8, maka didapatkan nilai *mean* dan SNR pada densitas yakni sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Tabel *mean* dan SNR densitas

Percobaan	$\rho_1$	$\rho_2$	$\rho_3$	<i>Mean</i>	SNR
1	1,005	1,004	0,997	1,00200	0,01719
2	0,985	1,014	1,005	1,00133	0,00965
3	0,980	1,015	1,015	1,00333	0,02533
4	0,986	1,015	1,015	1,00533	0,04376
5	0,996	1,015	1,015	1,00867	0,07392
6	0,996	1,015	1,015	1,00867	0,07392
7	0,979	1,015	1,021	1,00500	0,03881
8	1,009	1,032	1,022	1,01833	0,15569
9	1,005	1,027	1,024	1,01867	0,15944

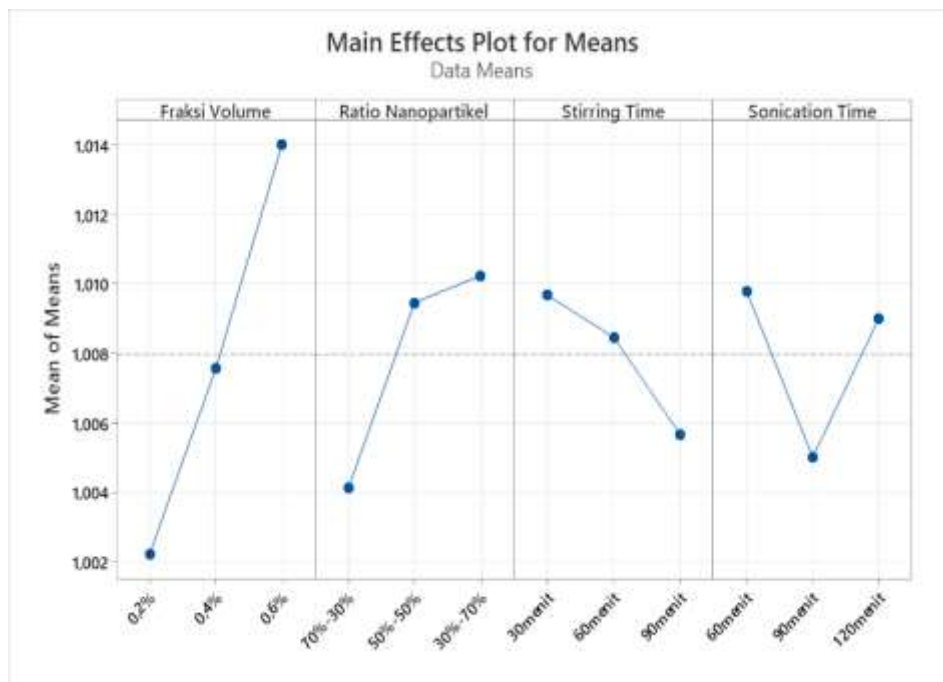
#### 4.4.2 Perhitungan ANOVA Terhadap Nilai *Mean* Setiap Faktor dan Level Faktor dari Densitas

Berdasarkan pada data *mean* di tabel 4.6, perhitungan analisis variansi dilanjutkan dengan mengacu pada persamaan 2.8 dan 2.9 untuk mendapatkan *response table* dan *response graph* dari densitas. Berikut merupakan *response table* dan *response graph* dari densitas:

Tabel 4. 7 *Response table for mean* densitas

Level	Fraksi Volume	Ratio Nanopartikel	<i>Stirring Time</i>	<i>Sonication Time</i>
1	1,002	1,004	<b>1,010</b>	<b>1,010</b>
2	1,008	1,009	1,008	1,005
3	<b>1,014</b>	<b>1,011</b>	1,006	1,009
Delta	0,012	0,006	0,004	0,005
Rank	1	2	4	3





Gambar 4. 6 Response graph for mean Densitas

Berdasarkan pada tabel 4.7 yakni *response table for mean* densitas, perhitungan analisis variansi dilanjutkan dengan mengacu pada persamaan 2.10 sampai dengan 2.17, perhitungan dilakukan pada seluruh parameter dari faktor A sampai dengan faktor D. Setelah itu, data yang telah diperoleh disusun dengan membentuk tabel sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Tabel ANOVA densitas

Source	SS	DF	MS	Fratio	SS'	%	Ftabel	Pengaruh
A	0,00467	2	0,00233	10,48	0,00423	19,9	3,55	Significant
B	0,00426	2	0,00213	9,48	0,00381	17,96	3,55	Significant
C	0,00415	2	0,00205	9,12	0,003650	17,19	3,55	Significant
D	0,00415	2	0,00207	9,24	0,0037	17,45	3,55	Significant
Error	0,00406	18	0,00022		0,00584	27,5		
SSt	0,02125	26	0,00081		0,02125	100		
Mean	27,4296							
SStotal	27,4509							

Berdasarkan pada tabel 4.8, seluruh faktor memiliki nilai *F-ratio* yang lebih besar dari nilai *F-tabel* ( $F_{0,05;2;18}$ ) = 3,55 (mengacu pada lampiran 6),

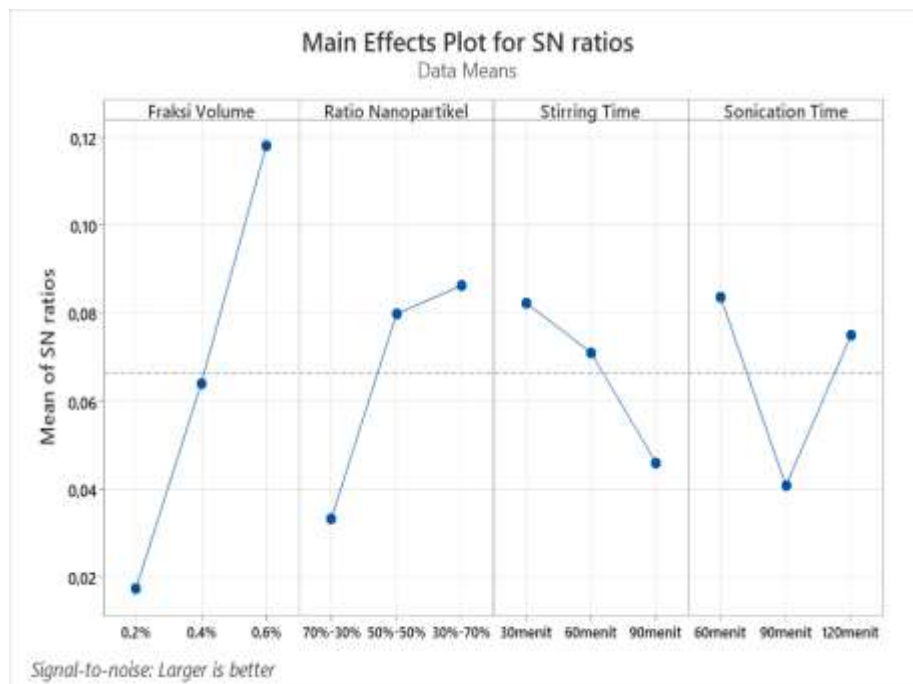
sehingga seluruh faktor ini dinyatakan memiliki pengaruh *significant* terhadap densitas dari nanofluida. Faktor A memiliki pengaruh kontribusi terbesar untuk meningkatkan nilai rata-rata eksperimen densitas dari nanofluida, kemudian disusul oleh faktor B, faktor D, dan faktor C. Berdasarkan tabel diatas, menunjukkan bahwa nilai persen kontribusi *error* ialah sebesar 27,5% yang dapat diartikan bahwa seluruh faktor yang *significant* sudah cukup untuk dimasukkan dalam eksperimen. Syarat dari metode Taguchi untuk nilai faktor optimal dimana nilai dari persentase *error* harus kurang dari 50% (Prasetya dkk., 2013).

#### 4.4.3 Perhitungan Nilai SNR Setiap Faktor dan Level Faktor dari Densitas

Berdasarkan pada data SNR di tabel 4.6, perhitungan dilanjutkan dengan mengacu pada persamaan 2.8 dan 2.9 untuk mendapatkan *response table* dan *response graph* dari densitas yang mana digunakan untuk menentukan setting level optimal dari nanofluida. Berikut merupakan *response table for SNR* dan *response graph for SNR* dari densitas:

Tabel 4. 8 *Response table for SNR* densitas (*Larger is Better*)

Level	Fraksi Volume	Ratio Nanopartikel	<i>Stirring Time</i>	<i>Sonication Time</i>
1	0,01739	0,03325	<b>0,08226</b>	<b>0,08352</b>
2	0,06387	0,07975	0,07095	0,04079
3	<b>0,11798</b>	<b>0,08623</b>	0,04602	0,07492
Delta	0,10059	0,05297	0,03625	0,04272
Rank	1	2	4	3

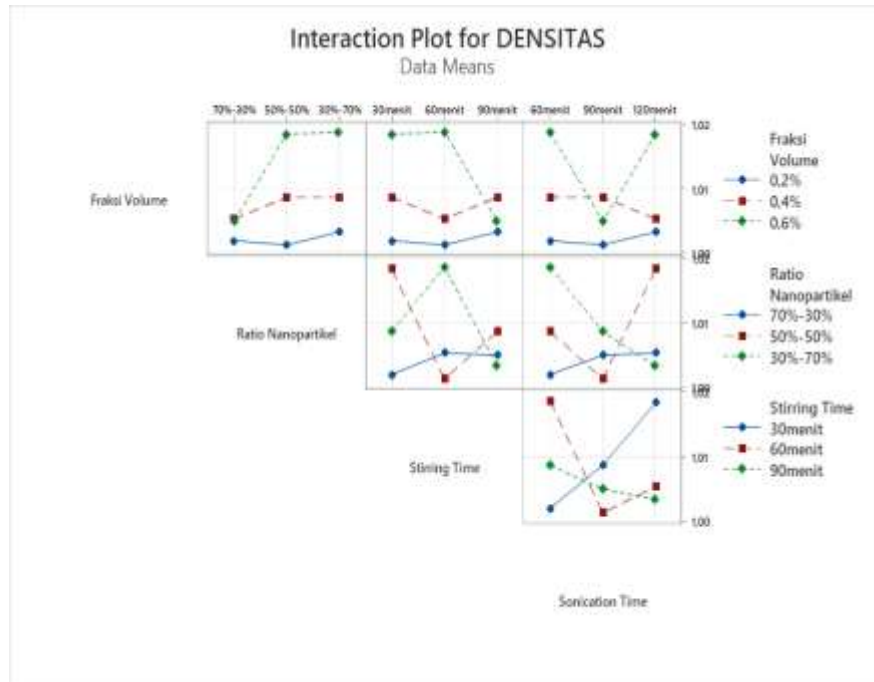


Gambar 4. 7 Response graph for SNR densitas

Berdasarkan pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa pada faktor A (Fraksi Volume Nanopartikel) dan faktor B (Ratio Nanopartikel) memiliki nilai SNR tertinggi pada level ke-3, diikuti oleh faktor C (Rasio Nanopartikel) dan faktor D (*Sonication Time*) yang memiliki nilai SNR tertinggi pada level ke-1. Berdasarkan pada *response graph* ini, akan dibuat setting level optimal dari densitas nanofluida.

#### 4.4.4 Interaction Plot for Densitas

*Interaction Plot* digunakan untuk menunjukkan bagaimana hubungan antara satu faktor dengan faktor lainnya yang kemudian menghasilkan *response*. Plot menampilkan *means* untuk salah satu level pada sumbu X dan garis terpisah untuk setiap level faktor lainnya. *Interaction Plot* digunakan untuk memahami perilaku satu variabel tergantung pada nilai variabel lainnya. Efek interaksi dianalisis dalam analisis regresi, DOE (*Design of Experiment*), serta ANOVA (*Analysis of Variance*). Berikut merupakan *interaction plot* dari densitas nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{Aquades}$ :



Gambar 4. 8 *Interaction plot for densitas*

Gambar diatas menunjukkan bagaimana satu parameter dan parameter lainnya berinteraksi untuk menghasilkan *response* berupa densitas pada nanofluida. Garis yang saling bersilangan menunjukkan bahwa adanya interaksi yang terjadi pada satu parameter dengan parameter lainnya untuk menghasilkan response berupa densitas pada nanofluida. Fraksi volume memiliki interaksi terhadap parameter lainnya, tetapi tidak dengan fraksi volume 0,2% karena terlihat pada gambar 4.8 dimana fraksi volume 0,2% tidak memotong garis lainnya yang mana menunjukkan tidak ada interaksi yang terjadi. Sementara itu untuk hubungan parameter lainnya terjadi interaksi.

#### 4.4.5 Perhitungan Nilai *Mean* dan SNR pada Viskositas

Dengan mengacu pada persamaan 2.7 dan persamaan 2.8 yakni persamaan untuk mendapatkan nilai rata-rata serta *signal to noise ratio* (SNR), maka didapatkan nilai *mean* dan SNR pada viskositas yakni sebagai berikut:

Tabel 4. 9 Tabel SNR dan *mean* viskositas

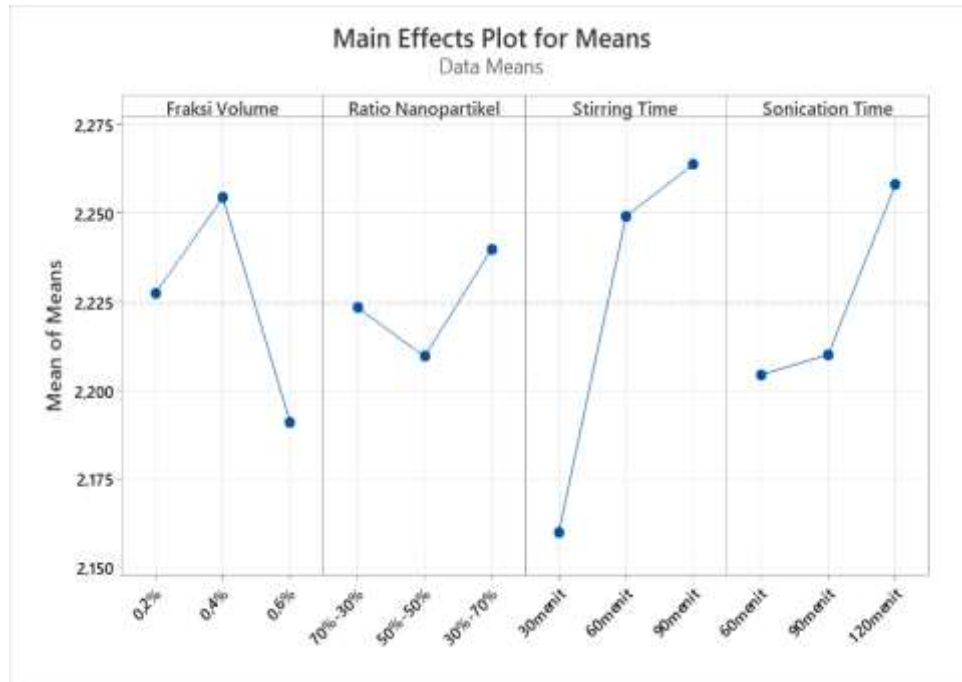
Percobaan	$\eta_1$	$\eta_2$	$\eta_3$	<i>Mean</i>	SNR
1	2,318	2,037	2,071	2,1421	6,57454
2	2,308	2,13	2,209	2,2234	6,9226
3	2,339	2,302	2,308	2,3165	7,29589
4	2,299	2,194	2,445	2,3123	7,25534
5	2,340	2,168	2,270	2,2593	7,06675
6	2,244	2,149	2,181	2,1912	6,80942
7	2,202	2,225	2,219	2,2153	6,90825
8	2,108	2,176	2,153	2,1457	6,62903
9	2,152	2,177	2,305	2,2114	6,88162

#### 4.4.6 Perhitungan ANOVA Terhadap Nilai *Mean* Setiap Faktor dan Level Faktor dari Densitas

Berdasarkan pada data *mean* di tabel 4.6, perhitungan analisis variansi dilanjutkan dengan mengacu pada persamaan 2.8 dan 2.9 untuk mendapatkan *response table* dan *response graph* dari densitas. Berikut merupakan *response table* dan *response graph* dari viskositas:

Tabel 4. 10 *Response table for means* viskositas

Level	Fraksi Volume	Ratio Nanopartikel	<i>Stirring Time</i>	<i>Sonication Time</i>
1	2,227	2,223	2,160	2,204
2	<b>2,254</b>	2,209	2,249	2,210
3	2,191	<b>2,240</b>	<b>2,2 64</b>	<b>2,258</b>
Delta	0,064	0,03	0,104	0,054
Rank	2	4	1	3



Gambar 4. 9 *Response graph for means* viskositas

Berdasarkan pada tabel 4.10 yakni *response table for mean* viskositas, perhitungan analisis variansi dilanjutkan dengan mengacu pada persamaan 2.10 sampai dengan 2.17, perhitungan dilakukan pada seluruh parameter dari faktor A sampai dengan faktor D. Setelah itu, data yang telah diperoleh disusun dengan membentuk tabel sebagai berikut:

Tabel 4. 11 Tabel ANOVA viskositas

Source	SS	DF	MS	Fratio	SS'	%	Ftabel	Pengaruh
<b>A</b>	0,01872	2	0,00936	7,16	0,01611	12,94	3,55	<i>Significant</i>
<b>B</b>	0,00456	2	0,00228	1,74	0,00194	1,57	3,55	<i>Insignificant</i>
<b>C</b>	0,05746	2	0,00287	21,99	0,05485	44,06	3,55	<i>Significant</i>
<b>D</b>	0,02023	2	0,01011	7,74	0,01761	14,15	3,55	<i>Significant</i>
<b>Error</b>	0,02351	18	0,00130		0,03396	27,28		
<b>SSt</b>	0,12449	26	0,00478		0,12449	100		
<b>Mean</b>	133,562							
<b>Sstotal</b>	133,686							

Berdasarkan pada tabel 4.12, Faktor A, Faktor C, dan Faktor D memiliki nilai *F-ratio* yang lebih besar dari nilai *F-tabel* ( $F_{0,05;2;18}$ ) = 3,5546 sehingga

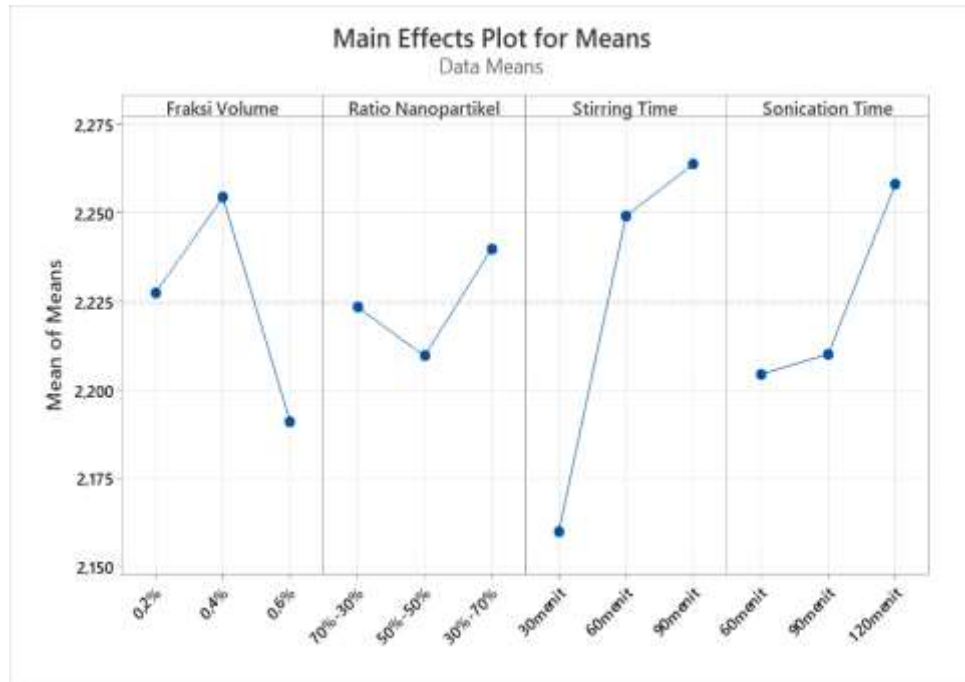
ketiga faktor ini dinyatakan memiliki pengaruh *significant* terhadap viskositas dinamik dari nanofluida. Sementara itu, pada faktor B memiliki nilai *F-ratio* yang lebih kecil dibandingkan *F-tabel* ( $F_{0,05;2;18} = 3,55$ ) sehingga dinyatakan tidak memiliki pengaruh yang *significant* terhadap viskositas dinamik dari nanofluida. Faktor C memiliki pengaruh kontribusi terbesar untuk meningkatkan nilai rata-rata eksperimen viskositas dinamik dari nanofluida, kemudian disusul oleh faktor D dan juga faktor A Untuk faktor B sebenarnya memiliki kontribusi juga untuk viskositas dinamik dari nanofluida tetapi nilainya lebih kecil. Berdasarkan tabel diatas, menunjukkan bahwa nilai persen kontribusi *error* ialah sebesar 27,28% yang dapat diartikan bahwa seluruh faktor yang *significant* sudah cukup untuk dimasukkan dalam eksperimen. Syarat dari metode Taguchi untuk nilai faktor optimal dimana nilai dari persentase *error* harus kurang dari 50%.

#### 4.4.7 Perhitungan Nilai SNR Setiap Faktor dan Level Faktor dari Densitas

Berdasarkan pada data SNR di tabel 4.10, perhitungan dilanjutkan dengan mengacu pada persamaan 2.8 dan 2.9 untuk mendapatkan *response table* dan *response graph* dari densitas yang mana digunakan untuk menentukan setting level optimal dari nanofluida. Berikut merupakan *response table for SNR* dan *response graph for SNR* dari viskositas:

Tabel 4. 12 *Response table for SNR* viskositas

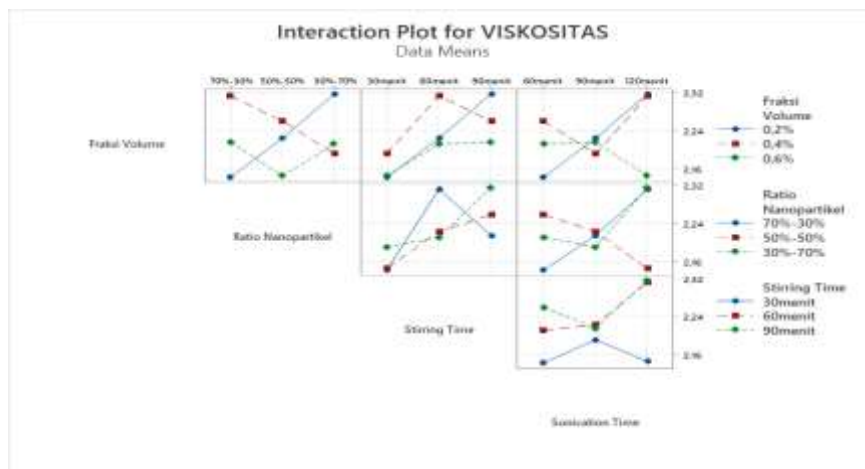
Level	Fraksi Volume	Ratio Nanopartikel	<i>Stirring Time</i>	<i>Sonication Time</i>
1	2,227	2,223	2,160	2,204
2	<b>2,254</b>	2,209	2,249	2,210
3	2,191	<b>2,240</b>	<b>2,264</b>	<b>2,258</b>
Delta	0,064	0,03	0,104	0,054
Rank	2	4	1	3



Gambar 4. 10 *Response graph for SNR viskositas*

Berdasarkan pada gambar diatas menunjukkan bahwa pada faktor A (Fraksi Volume Nanopartikel) memiliki nilai SNR tertinggi pada level ke-2, diikuti oleh faktor B (Rasio Nanopartikel), faktor C (*Stirring Time*) dan faktor D (*Sonication Time*) pada level ke-3. Berdasarkan pada *response graph* ini, akan dibuat setting level optimal dari viskositas nanofluida.

#### 4.4.8 *Interaction Plot for Viskositas*



Gambar 4. 11 *Interaction plot for viskositas*



Gambar *interaction plot* pada viskositas dinamik menunjukkan hubungan antara satu parameter dengan parameter lainnya, hampir seluruh parameter menghasilkan garis yang saling bertabrakan yang menunjukkan adanya interaksi yang terjadi antar parameter, kecuali pada parameter stirring time 30 menit yang mana menunjukkan tidak adanya interaksi untuk menghasilkan *response* berupa viskositas dinamik dari nanofluida.

#### 4.4.9 Penentuan *Setting Level* Optimal Nanofluida

Setelah melakukan perhitungan analisis ANOVA untuk nilai *mean* dan SNR dari densitas dan viskositas. Didapatkanlah level faktor optimal dari setiap faktor yang berpengaruh terhadap densitas serta viskositas dari nanofluida dengan berdasarkan pada gambar 4.7 dan 4.10, setting level optimal nanofluida terhadap viskositas dan densitas dapat dibuat sebagai berikut

Tabel 4. 13 Setting level optimal dari nanofluida

Faktor	Setting Level Optimal Densitas	Pengaruh	Setting Level Optimal Viskositas	Pengaruh
A	A3	<i>Significant</i>	A2	<i>Significant</i>
B	B3	<i>Significant</i>	B3	<i>Insignificant</i>
C	C1	<i>Significant</i>	C3	<i>Significant</i>
D	D1	<i>Significant</i>	D3	<i>Significant</i>

#### 4.4.10 Selang Kepercayaan Kondisi Optimal Nanofluida

Setelah *setting level* kondisi optimal dari nanofluida didapatkan, kemudian dilakukan penentuan dari nilai selang kepercayaan terhadap nilai *mean* pada kondisi optimal terhadap densitas dan viskositas. Apabila nilai perkiraan dari hasil eksperimen memiliki nilai hampir sama atau mendekati hasil

dari eksperimen optimal maka dapat disimpulkan bahwa rancangan eksperimen Taguchi sudah memenuhi syarat yang ada (Prasetya dkk., 2013).

Dengan mengacu pada persamaan 2.18 dan 2.19, maka didapatkan selang kepercayaan dari densitas serta viskositas, berikut merupakan selang kepercayaan perkiraan dari densitas serta viskositas:

Selang Kepercayaan Densitas  $= 1,00305 \leq \mu_{\text{perkiraan}} \leq 1,03939$  (perkiraan)

Selang Kepercayaan Viskositas  $= 2,27494 \leq \mu_{\text{perkiraan}} \leq 2,35166$  (perkiraan)

#### 4.4.11 Eksperimen Validasi

Eksperimen validasi merupakan proses akhir dari proses pengujian eksperimen, dimana pengujian dilakukan dengan melakukan suatu pengujian yang menggunakan kombinasi tertentu (*setting level* optimal) dari faktor serta level hasil dari evaluasi sebelumnya. Tujuan dari eksperimen validasi ialah untuk mengkonfirmasi terhadap kesimpulan yang diperoleh dari eksperimen tahap awal dengan kembali melakukan 3 kali pengulangan pembuatan sampel 10 (sampel optimal terhadap densitas) dan sampel 11 (sampel optimal terhadap viskositas). Berikut merupakan hasil pengujian yang mana parameter dari pengujian mengacu berdasarkan pada tabel 4.14 yang merupakan tabel *setting level* optimal dari nanofluida.

Tabel 4. 14 Tabel hasil eksperimen validasi densitas

<i>Control Factors</i>				<i>Densitas, <math>\rho</math> (g/cm<sup>3</sup>)</i>			<i>Mean</i>	<i>SNR</i>
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i><math>\rho_1</math></i>	<i><math>\rho_2</math></i>	<i><math>\rho_3</math></i>		
0,60%	30%- 70%	30menit	60menit	1,017	1,016	1,017	1,016	0,1407

Tabel 4. 15 Tabel hasil eksperimen validasi viskositas

<i>Control Factors</i>				<i>Viskositas, <math>\eta</math> (cP)</i>			<i>Mean</i>	<i>SNR</i>
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i><math>\eta_1</math></i>	<i><math>\eta_2</math></i>	<i><math>\eta_3</math></i>		
0,40%	30%- 70%	60min	120min	2,2863	2,2103	2,370	2,2887	7,1818

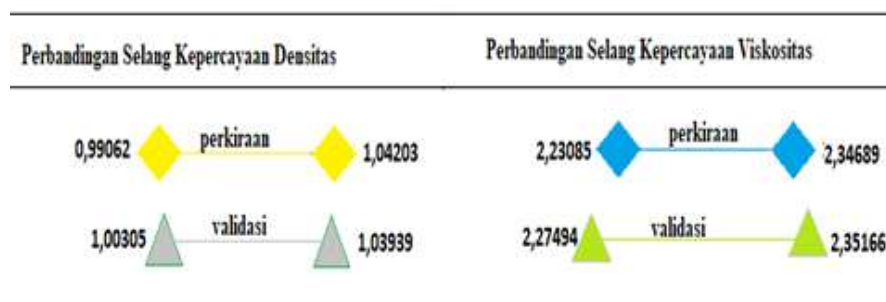
Setelah diperoleh hasil percobaan densitas serta viskositas dari sampel nanofluida optimal, maka dilakukan perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) serta mencari nilai *mean* dari hasil eksperimen validasi tersebut, selanjutnya dilakukan perhitungan selang kepercayaan eksperimen validasi yang mengacu pada persamaan 2.18 dan 2.19 yang bertujuan untuk membuat suatu perkiraan dari level-level faktor untuk dibandingkan dengan selang kepercayaan perkiraan.

Berikut merupakan selang kepercayaan validasi dari sampel optimal nanofluida:

Selang Kepercayaan Densitas  $= 0,99062 \leq \mu_{validasi} \leq 1,04203$  (validasi)

Selang Kepercayaan Viskositas  $= 2,23085 \leq \mu_{validasi} \leq 2,34689$  (validasi)

Kedua selang kepercayaan yakni selang kepercayaan perkiraan dan validasi kemudian dibandingkan sebagai berikut:



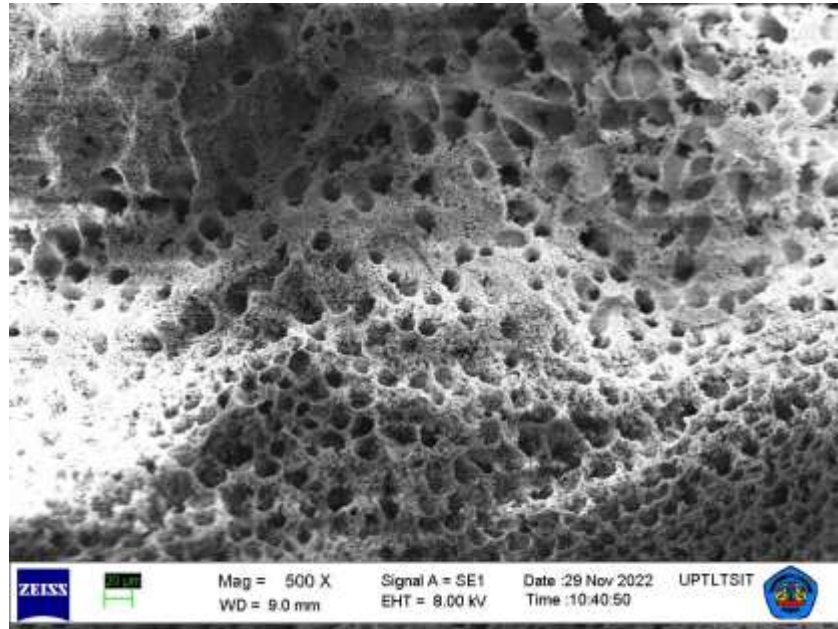
Gambar 4. 12 Perbandingan Selang Kepercayaan

Berdasarkan pada gambar diatas menunjukkan bahwa hasil eksperimen validasi untuk nilai rata-rata terhadap densitas serta viskositas nanofluida dapat diterima dengan pertimbangan selang kepercayaan karena selang kepercayaan eksperimen validasi berada atau terletak dalam interval hasil selang kepercayaan perkiraan atau optimal.

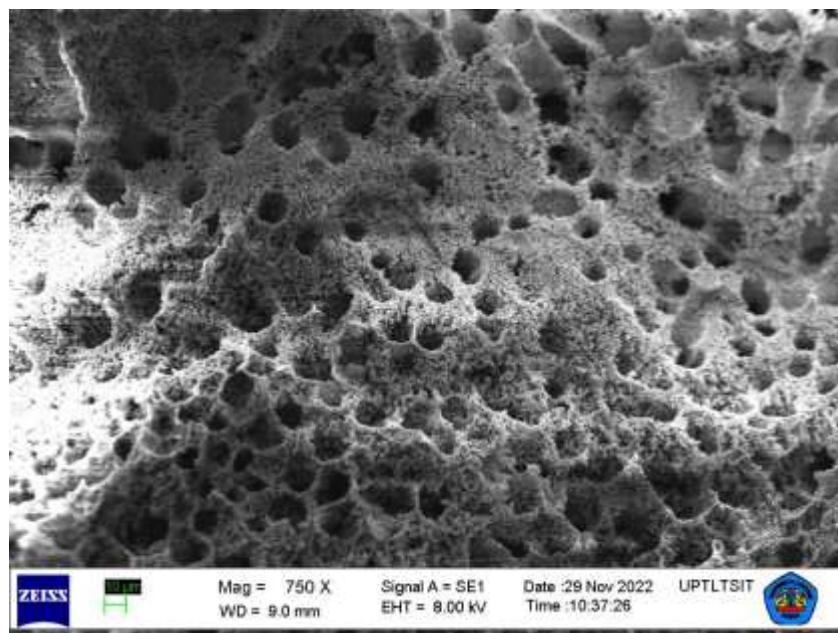
#### 4.5 Hasil Pengamatan *Scanning Electrone Microscope* (SEM)

Pengamatan *Scanning Electrone Microscope* (SEM) dilakukan untuk mengamati struktur nano yang terbentuk pada sampel nanofluida optimal yang telah dipreparasi sebelumnya. Pengujian SEM dilakukan dengan alat uji *Scanning Electrone Microscope* di Unit Pelayanan Terpadu Laboratorium

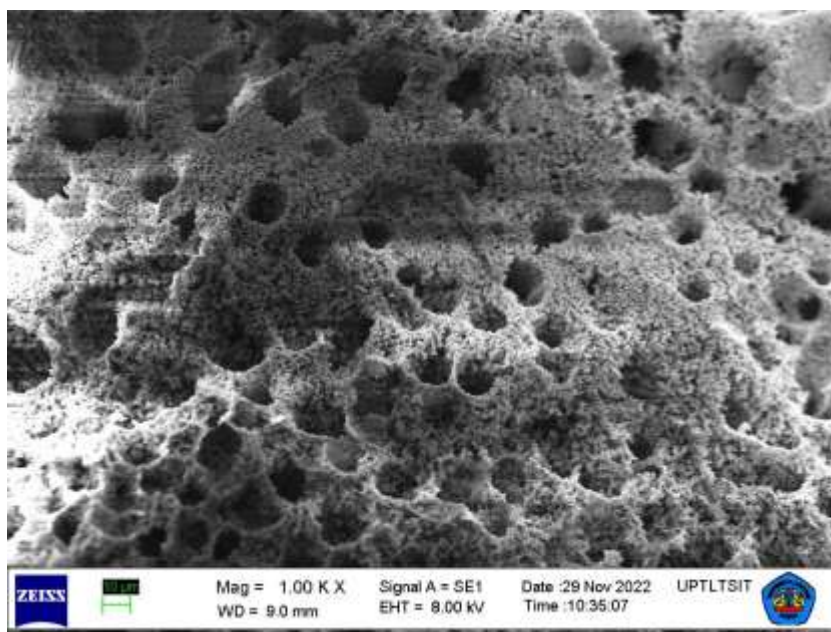
Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung, pengamatan dilakukan dengan perbesaran yang bervariasi. Berikut hasil dari pengamatan SEM terhadap nanofluida optimal.



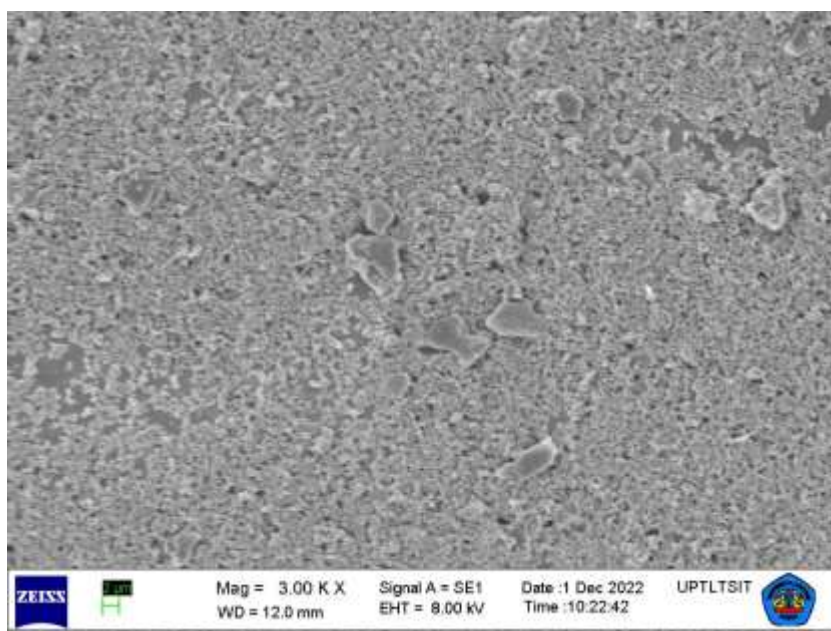
Gambar 4. 13 Pengamatan SEM pada perbesaran 500x



Gambar 4. 14 Pengamatan SEM pada perbesaran 750x



Gambar 4. 15 Pengamatan SEM pada perbesaran 1000x



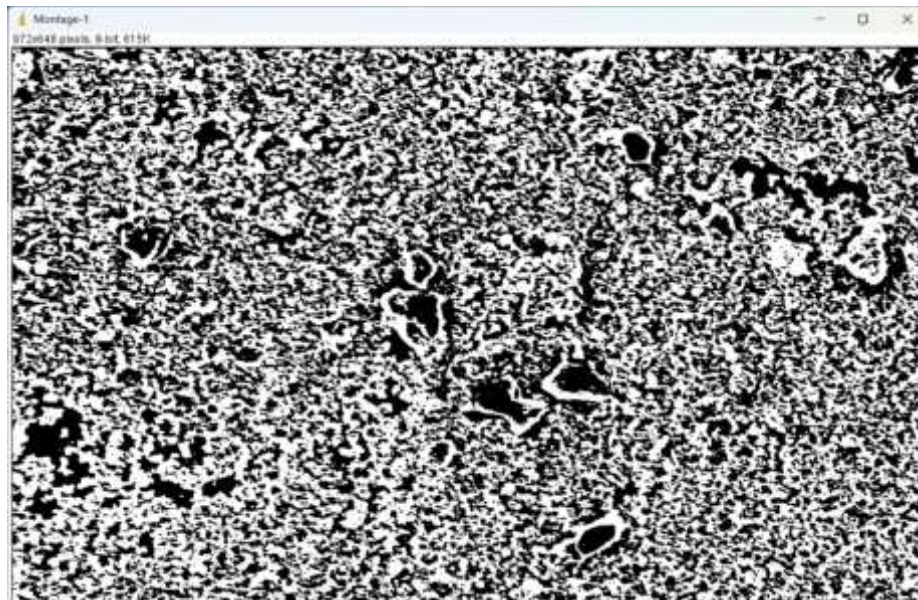
Gambar 4. 16 Pengamatan SEM pada perbesaran 3000x

Berdasarkan pada gambar 4.14 sampai dengan 4.17 dimana pengamatan SEM dilakukan pada perbesaran 500x, 750x, 1000x, dan 3000x. Sintesis nanopartikel *hybrid*  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  dengan fluida dasar berupa *aquades*

menunjukkan bentuk yang tidak beraturan pada perbesaran 500x sampai dengan 1000x. Pada perbesaran 3000x bentuk dari nanopartikel *hybrid*  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  mulai terlihat dimana terlihat bentuk dari nanopartikel berbentuk kubik dan bulatan (*nanosphere*) yang sangat kecil.

#### 4.5.1 Hasil Pengamatan Scanning Electrone Microscope dengan Software Image-J

Software Image-J merupakan software berbasis java yang berfungsi untuk *quantitative image analysis tool*. Software ini seringkali digunakan untuk menganalisis gambar. Salah satu kelebihan utama dari software ini ialah mampu menghitung nilai serta luas dari suatu partikel. Analisis dari partikel dilakukan dengan mengubah gambar hasil SEM ke threshold terlebih dahulu yang kemudian dimasukkan ke fitur analisis partikel secara otomatis. Berikut merupakan hasil pengamatan dari SEM dengan software Image-J.

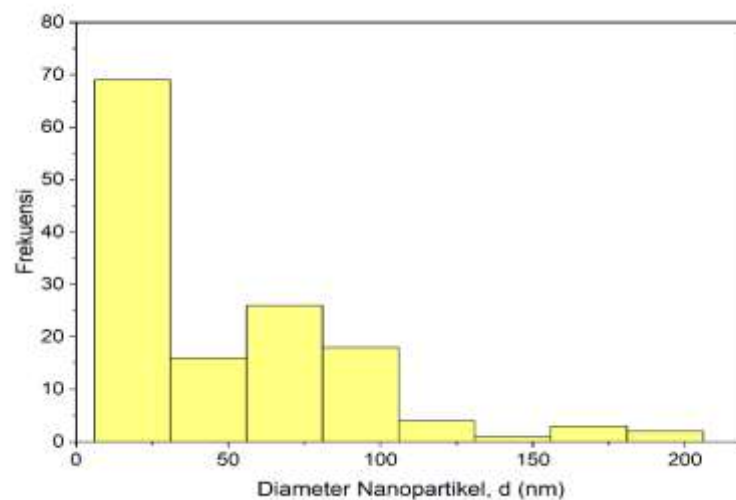


Gambar 4. 17 Perubahan gambar SEM ke thresold



Gambar 4. 18 Pengambilan data diameter nanopartikel

Setelah diameter dari nanopartikel diketahui, selanjutnya data dari diameter diolah dengan software origin untuk mendapatkan grafik analisa distribusi dari nanopartikel. Berikut merupakan grafik dari analisa distribusi nanopartikel:



Gambar 4. 19 Grafik analisa distribusi partikel

Berdasarkan pada gambar diatas, dapat terlihat luas area partikel rata-rata dengan menggunakan fitur analisa distribusi partikel pada software Image-J. Pada grafik tersebut ditunjukkan bahwa diameter dari nanopartikel berukuran mulai dari 5 nanometer sampai dengan 210 nanometer.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada seluruh data yang telah diperoleh, peneliti dapat mengambil kesimpulan yang mana akan menjadi acuan dalam hal optimalisasi. Kesimpulan yang didapat sebagai berikut:

1. Berdasarkan pada hasil dari analisis ANOVA, seluruh parameter memiliki pengaruh signifikan dalam mempengaruhi nilai densitas dari nanofluida  $Al_2O_3-TiO_2/Aquades$ . Setting level untuk optimalisasi terhadap densitas nanofluida adalah A3, B3, C1, D1. Pada viskositas dinamik, terdapat 3 parameter yang memiliki pengaruh signifikan dalam mempengaruhi nilai viskositas dinamik dari nanofluida  $Al_2O_3-TiO_2/Aquades$ . 1 parameter yang tidak mempunyai pengaruh signifikan ialah ratio nanopartikel. Setting level untuk optimalisasi terhadap viskositas dinamik dari nanofluida adalah A2, B3, C3, D3.
2. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan dalam proses sedimentasi serta sentrifugasi, penggunaan fraksi volume serta ratio nanopartikel sangat menentukan stabilitas dari fluida nano  $Al_2O_3-TiO_2/Aquades$ . Semakin tinggi penggunaan fraksi volume maka semakin meningkatkan stabilitas dari nanofluida. Pada parameter ratio nanopartikel, terlihat penggunaan dengan ratio 30%  $Al_2O_3$  – 70%  $TiO_2$  memiliki stabilitas yang terbaik.
3. Pengamatan terhadap hasil dari *Scanning Electrone Microscope* terlihat bentuk dari nanopartikel yaitu kubik dan bulatan (*nanosphere*). Analisa distribusi partikel menggunakan software Image-J menunjukkan diameter dari partikel nano sebesar 5 nanometer sampai dengan 210 nanometer.

## 5.2 Saran

1. Karena rentannya kesalahan dalam perhitungan waktu bola jatuh dalam penggunaan viskometer bola jatuh yang tentunya dapat mengubah hasil penelitian maka penggunaan *viscosity meter digital* dapat dipertimbangkan karena akan menghasilkan data yang lebih akurat.
2. Penggunaan *Ultra Violet-Visible Spectrophotometer* (UV-Vis) dalam proses sedimentasi untuk mengevaluasi stabilitas dari nanofluida.

## DAFTAR RUJUKAN

- Adani, S. I., & Pujiastuti, Y. A. (2018). Pengaruh Suhu dan Waktu Operasi pada Proses Destilasi untuk Pengolahan Aquades di Fakultas Teknik Universitas Mulawarman. *Jurnal Chemurgy*, 1(1), 31. <https://doi.org/10.30872/cmg.v1i1.1137>
- Adhika, D. R., Anindya, A. L., Tanuwijaya, V. V., & Rachmawati, H. (2019). Teknik Pengamatan Sampel Biologi Dan Non-Konduktif Menggunakan Scanning Electron Microscopy. 53–58. <https://doi.org/10.5614/sniko.2018.9>
- Al-Araji, K. M., Hachim, D. M., & M A, A. (2021). Nano-Fluids as a Coolant for Automotive Engine Radiators: Review Study. *Al-Furat Journal of Innovations in Mechanical and Sustainable Energy Engineering*, 1(2), 64. <https://doi.org/10.52262/130221-05>
- Ali, A. R. I., & Salam, B. (2020). A review on nanofluid: preparation, stability, thermophysical properties, heat transfer characteristics and application. *SN Applied Sciences*, 2(10), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03427-1>
- Alim, M. I., Firdausi, A., & Nurmalasari, M. D. (2017). Densitas dan Porositas Batuan. *Fisika Laboratorium*, January, 1–3. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21184.89607>
- 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>
- Awais, M., Ullah, N., Ahmad, J., Sikandar, F., Ehsan, M. M., Salehin, S., & Bhuiyan, A. A. (2021). Heat transfer and pressure drop performance of

Nanofluid: A state-of-the-art review. *International Journal of Thermofluids*, 9, 100065. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2021.100065>

Baghban, A., Jalali, A., Shafiee, M., Ahmadi, M. H., & Chau, K. wing. (2019). Developing an ANFIS-based swarm concept model for estimating the relative viscosity of nanofluids. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 13(1), 26–39. <https://doi.org/10.1080/19942060.2018.1542345>

Bernad, L. F. (2019). Analisis Mesin Penghasil Aquades Menggunakan Mesin Siklus Kompresi Uap Dengan Pengaruh Putaran Kipas Sebelum Evaporator. Skripsi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta, 6.

Cimbala, M. J. (2014). Taguchi Orthogonal Arrays. *Instrumentation, Measurements, and Statistics*, September, 4–6. [https://www.mne.psu.edu/me345/Lectures/Taguchi\\_orthogonal\\_arrays.pdf](https://www.mne.psu.edu/me345/Lectures/Taguchi_orthogonal_arrays.pdf)

Dagdevir, T., & Ozceyhan, V. (2021). Optimization of process parameters in terms of stabilization and thermal conductivity on water based TiO<sub>2</sub> nanofluid preparation by using Taguchi method and Grey relation analysis. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 120(xxxx), 105047. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.105047>

Dr. Vladimir, V. F. (2019). BAB II Tinjauan Pustaka BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1. 1–64. *Gastronomía Ecuatoriana y Turismo Local.*, 1(69), 5–24.

Dwistika, R. (2018). Karakteristik Nanopartikel Perak Hasil Produksi Dengan Teknik Elektrolisis Berdasarkan Uji Spektrofotometer UV-VIS Dan Particle Size Analyzer (PSA). Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta, 1–76.

Gafarot, J. J. B. (1997). *Instruction Manual Falling Ball Viscometer C*. Fungilab, 24.

Gakare, A., Sharma, A., & Saxena, G. (2019). Review on Recent Automotive

Experimental Applications of Nano Coolants. *Journal of Nanoscience, Nanoengineering & Applications*, 9(1), 1–10.

Gupta, N. K., Tiwari, A. K., & Ghosh, S. K. (2018). Heat transfer mechanisms in heat pipes using nanofluids – A review. In *Experimental Thermal and Fluid Science* (Vol. 90). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2017.08.013>

Harahap, Y. (2012). Preparasi dan Karakterisasi Nanopartikel Kitosan dengan Variasi Asam. 1–86.

Istiqomah, D. S., Kirom, M. R., & Syarif, D. G. (2016). Sintesis  $Al_2O_3$  Nanopartikel dari Bahan Biji Bauksit Untuk Aplikasi Pada model Radiator. *E-Proceeding of Engineering*, 3(2), 2108–2115.

Judenta, K. M., Ratnawulan, & Syarif, D. G. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel  $Al_2O_3$  dengan Metoda Sol Gel menggunakan Pengkelat Ekstrak Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi*) untuk Aplikasi Nanofluida. *Pillar of Physics*, 10, 39–46.

Kasyfurrahman. (2021). Analisa Parameter Proses Untuk Sambungan Dissimilar Baja Karbon Rendah dan Stainless Steel dengan Metode Taguchi.

Kong, L., Sun, J., & Bao, Y. (2017). Preparation, characterization and tribological mechanism of nanofluids. *RSC Advances*, 7(21), 12599–12609. <https://doi.org/10.1039/c6ra28243a>

Mahbubul, I. M., Saidur, R., & Amalina, M. A. (2019). Thermal conductivity, viscosity and density of R141b refrigerant based nanofluid. *Procedia Engineering*, 56, 310–315. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.124>

Manab, A., Aulia, A., Putra Waldi, E., Kodrat, M., & Widia, G. (2018). Pengaruh Penuaan Elektrik Terhadap Karakteristik Tegangan Tembus dan PDIV Minyak NanoNynas. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 7(1), 18. <https://doi.org/10.25077/jnte.v7n1.522.2018>

- Mane, N. S., & Hemadri, V. (2021). Study of the effect of preparation parameters on thermal conductivity of metal oxide nanofluids using Taguchi method. *Journal of Energy Systems*, 5(2), 149–164. <https://doi.org/10.30521/jes.872530>
- Mansyla. (2018). Modul I Massa Jenis. 1–8.
- Martien, R., Adhyatmika, Irianto, I. D. K., Farida, V., & Sari, D. P. (2012). Technology Developments Nanoparticles as Drug. *Majalah Farmaseutik*, 8(1), 133–144.
- Mehrali, M., Sadeghinezhad, E., Rosen, M. A., Akhiani, A. R., Tahan Latibari, S., Mehrali, M., & Metselaar, H. S. C. (2018). Heat transfer and entropy generation for laminar forced convection flow of graphene nanoplatelets nanofluids in a horizontal tube. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 66, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2015.05.007>
- Mukesh Kumar, P. C., Palanisamy, K., & Vijayan, V. (2020). Stability analysis of heat transfer hybrid/water nanofluids. *Materials Today: Proceedings*, 21(xxxx), 708–712. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.743>
- Octariani, I., Virgantari, F., & Wijayanti, H. (2021). Metode Taguchi Dalam Analisis Pengendalian Kualitas Produk Furniture. *Interval : Jurnal Ilmiah Matematika*, 1(2), 50–61. <https://doi.org/10.33751/interval.v1i2.4556>
- Okello, J. A., Mutuku, W. N., & Oyem, A. O. (2020). Analysis of Ethylene Glycol (EG)-based ((Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), (Cu-TiO<sub>2</sub>), (TiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)) Hybrid Nanofluids for Optimal Car Radiator Coolant. *Journal of Engineering Research and Reports*, 17(2), 34–50. <https://doi.org/10.9734/jerr/2020/v17i217186>
- Paulus Wisnu Anggoro. (2019). Paulus, Wisnu Anggoro. 6, 105–118.
- Prasetya, C., Rahman, A., & Efranto, R. Y. (2013). Design of Experiments on New Mix Design of Concrete Block Composed of Lapindo Mud and Fly

- Ash Using Taguchi Method. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Sistem Industri (JRMSI)*, 1(1), 57–65.
- Putri, B. M. L., Putri, S. O., Muchtadi, F. I., & Mukhlis, F. (2019). Pembuatan Prototipe Viskometer Bola Jatuh Menggunakan Sensor Magnet dan Bola Magnet. *Jurnal Otomasi Kontrol Dan Instrumentasi*, 5(2), 101. <https://doi.org/10.5614/joki.2013.5.2.6>
- Ramadhan, A. I., Basri, H., Diniardi, E., & Almanda, D. (2021). Aplikasi Hibrida Nanofluida Di Sistem Pendingin Kendaraan.
- Ridhawati, & Fajar, H. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Titanium Dioksida dengan Bioreduktor Ekstrak Kayu Manis (*Cinnamomum sp.*). 2017, 101–104.
- Salam, R. (2017). Uji Kerapatan, Viskositas dan Tegangan Permukaan pada Tinta Print dengan Bahan dengan Bahan Dasar Arang Sabut Kelapa. *Jurnal Sains*, 1(1), 19–20.
- Saxena, G., & Soni, P. (2018). Nano Coolants for Automotive Applications : A Review. *A Journal of Nanotechnology and Its Applications*, 20(1), 8–22.
- Septiadi, W. N., Astawa, K., & Tamba, F. Y. M. (2019). Fenomena Pendidihan Sumbu Kapiler Pipa Kalor berbasis Sintered Powder Tembaga pada Fluida Kerja Hybrid Nanofluida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. ... *Engineering Perhotelan X*, 2019, 353–359. [https://ucs.unud.ac.id/userfiles/file\\_prosiding/ef075bf0ab8d41e8206ef2d3c30a5070.pdf](https://ucs.unud.ac.id/userfiles/file_prosiding/ef075bf0ab8d41e8206ef2d3c30a5070.pdf)
- Sheremet, M. A. (2021). Applications of nanofluids. In *Nanomaterials* (Vol. 11, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/nano11071716>
- Souder, J., & Gopalakrishnan, B. (2021). Simple Application of Nano Technology-A Review Simple Application of Nano Technology- A Review. November.

- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, B., & Dimiyati, A. (2017). Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*, 9(1), 44. <https://doi.org/10.17146/jfn.2015.9.1.3563>
- Syukri, F. A., & Suyitno, B. M. (2022). Analisis Pengaruh Nanofluida Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>) Terhadap Kinerja Fluida Dasar Pada Perpindahan Panas Pada Alat Penukar Panas Pipa Ganda. *Kalpika*, 19(1), 18–25. <https://journal.teknikunkris.ac.id/index.php/kalpika/article/download/250/229>
- Wicaksono, R. H., Teknik, J., Universitas, M., & Volume, L. A. (2020). Variasi jarak nozel terhadap perubahan putaran turbin pelton. 1–5.
- Zhang, H., Qing, S., Zhai, Y., Zhang, X., & Zhang, A. (2021). The changes induced by pH in TiO<sub>2</sub>/water nanofluids: Stability, thermophysical properties and thermal performance. *Powder Technology*, 377, 748–759. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.09.004>), pp. 404–407



## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Perhitungan massa nanopartikel

- ✓ Perhitungan massa nanopartikel untuk fraksi volume 0,2% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

$$\varphi = \frac{V_{np}}{V_{np}+V_{bf}} \times 100$$

dimana :

$V_{np}$  = Volume nanopartikel

$V_{bf}$  = Volume fluida dasar (Aquades)

$\varphi$  = Fraksi volume (0,2%)

$$\rho_{Al_2O_3} = 3950 \text{ kg/m}^3$$

$$\varphi = \frac{V_{np}}{V_{np}+V_{bf}} \times 100$$

$$0,2\% = \frac{V_{np}}{250 \text{ ml}}$$

$$0,002 = \frac{V_{np}}{250 \text{ ml}}$$

$$V_{np} = 0,5 \text{ ml}$$

$$m_{np} = V_{np} \times \rho_{np}$$

$$m_{np} = 0,5 \text{ ml} \times 3950 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{np} = 0,5 \text{ ml} \times 3950 \text{ kg/m}^3 \times$$

$$\frac{10^{-6} \text{ m}^3}{1 \text{ ml}}$$

$$m_{np} = 1,975 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$m_{np} = 1,975 \text{ gr}$$

KOMPOSISI (70%;50%;30%)s

- $m_{np}$  pada 70%  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,7 \times 1,975 \text{ gr} = 1,3825 \text{ gr}$
  - $m_{np}$  pada 50%  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,5 \times 1,975 \text{ gr} = 0,9875 \text{ gr}$
  - $m_{np}$  pada 30%  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,3 \times 1,975 \text{ gr} = 0,5925 \text{ gr}$
- ✓ Perhitungan massa nanopartikel untuk fraksi volume 0,2%  $\text{TiO}_2$

$$\varphi = \frac{V_{np}}{V_{np} + V_{bf}} \times 100$$

dimana :

$V_{np}$  = Volume nanopartikel

$V_{bf}$  = Volume fluida dasar (Aquades)

$\varphi$  = Fraksi volume (0,2%)

$$\rho_{\text{TiO}_2} = 4230 \text{ kg/m}^3$$

$$\varphi = \frac{V_{np}}{V_{np} + V_{bf}} \times 100$$

$$0,2\% = \frac{V_{np}}{250 \text{ ml}}$$

$$0,002 = \frac{V_{np}}{250 \text{ ml}}$$

$$V_{np} = 0,5 \text{ ml}$$

$$m_{np} = V_{np} \times \rho_{np}$$

$$m_{np} = 0,5 \text{ ml} \times 4230 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{np} = 0,5 \text{ ml} \times 4230 \text{ kg/m}^3 \times$$

$$\frac{10^{-6} \text{ m}^3}{1 \text{ ml}}$$

$$m_{np} = 2,115 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$m_{np} = 2,115 \text{ gr}$$

KOMPOSISI (70%;50%;30%)

- $m_{np}$  pada 70%  $\text{TiO}_2 = 0,7 \times 2,115 \text{ gr} = 1,4805 \text{ gr}$
- $m_{np}$  pada 50%  $\text{TiO}_2 = 0,5 \times 2,115 \text{ gr} = 1,0575 \text{ gr}$

- $m_{np}$  pada 30%  $\text{TiO}_2 = 0,3 \times 2,115 \text{ gr} = 0,6345 \text{ gr}$

- ✓ Perhitungan massa nanopartikel untuk fraksi volume 0,4%  $\text{Al}_2\text{O}_3$

$$\varphi = \frac{V_{np}}{V_{np}+V_{bf}} \times 100$$

dimana :

$V_{np}$  = Volume nanopartikel

$V_{bf}$  = Volume fluida dasar (Aquadess)

$\varphi$  = Fraksi volume (0,4%)

$$\rho_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 3950 \text{ kg/m}^3$$

$$\varphi = \frac{V_{np}}{V_{np}+V_{bf}} \times 100$$

$$0,4\% = \frac{V_{np}}{250 \text{ ml}}$$

$$0,004 = \frac{V_{np}}{250 \text{ ml}}$$

$$V_{np} = 1 \text{ ml}$$

$$m_{np} = V_{np} \times \rho_{np}$$

$$m_{np} = 1 \text{ ml} \times 3950 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{np} = 1 \text{ ml} \times 3950 \text{ kg/m}^3 \times$$

$$\frac{10^{-6} \text{ m}^3}{1 \text{ ml}}$$

$$m_{np} = 3,95 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$m_{np} = 3,95 \text{ gr}$$

KOMPOSISI (70%;50%;30%)

- $m_{np}$  pada 70%  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,7 \times 3,95 \text{ gr} = 2,765 \text{ gr}$
- $m_{np}$  pada 50%  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,5 \times 3,95 \text{ gr} = 1,975 \text{ gr}$

- $m_{np}$  pada 30%  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,3 \times 3,95 \text{ gr} = 1,185 \text{ gr}$

✓ Perhitungan massa nanopartikel untuk fraksi volume 0,4%  $\text{TiO}_2$

$$\varphi = \frac{V_{np}}{V_{np} + V_{bf}} \times 100$$

dimana :

$V_{np}$  = Volume nanopartikel

$V_{bf}$  = Volume fluida dasar (Aquadess)

$\varphi$  = Fraksi volume (0,4%)

$$\rho_{\text{TiO}_2} = 4230 \text{ kg/m}^3$$

$$\varphi = \frac{V_{np}}{V_{np} + V_{bf}} \times 100$$

$$0,4\% = \frac{V_{np}}{250 \text{ ml}}$$

$$0,004 = \frac{V_{np}}{250 \text{ ml}}$$

$$V_{np} = 1 \text{ ml}$$

$$m_{np} = V_{np} \times \rho_{np}$$

$$m_{np} = 1 \text{ ml} \times 4230 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{np} = 1 \text{ ml} \times 4230 \text{ kg/m}^3 \times$$

$$\frac{10^{-6} \text{ m}^3}{1 \text{ ml}}$$

$$m_{np} = 4,23 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$m_{np} = 4,23 \text{ gr}$$

KOMPOSISI (70%;50%;30%)

- $m_{np}$  pada 70%  $\text{TiO}_2 = 0,7 \times 4,23 \text{ gr} = 2,961 \text{ gr}$
- $m_{np}$  pada 50%  $\text{TiO}_2 = 0,5 \times 4,23 \text{ gr} = 2,115 \text{ gr}$

- $m_{np}$  pada 30%  $\text{TiO}_2 = 0,3 \times 4,23 \text{ gr} = 1,269 \text{ gr}$

- ✓ Perhitungan massa nanopartikel untuk fraksi volume 0,6%  $\text{Al}_2\text{O}_3$

$$\varphi = \frac{V_{np}}{V_{np} + V_{bf}} \times 100$$

dimana :

$V_{np}$  = Volume nanopartikel

$V_{bf}$  = Volume fluida dasar (Aquadess)

$\varphi$  = Fraksi volume (0,4%)

$$\rho_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 3950 \text{ kg/m}^3$$

$$\varphi = \frac{V_{np}}{V_{np} + V_{bf}} \times 100$$

$$0,6\% = \frac{V_{np}}{250 \text{ ml}}$$

$$0,006 = \frac{V_{np}}{250 \text{ ml}}$$

$$V_{np} = 1 \text{ ml}$$

$$m_{np} = V_{np} \times \rho_{np}$$

$$m_{np} = 1,5 \text{ ml} \times 3950 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{np} = 1,5 \text{ ml} \times 3950 \text{ kg/m}^3 \times$$

$$\frac{10^{-6} \text{ m}^3}{1 \text{ ml}}$$

$$m_{np} = 5,925 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$m_{np} = 5,925 \text{ gr}$$

KOMPOSISI (70%;50%;30%)

- $m_{np}$  pada 70%  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,7 \times 5,925 \text{ gr} = 4,1475 \text{ gr}$
- $m_{np}$  pada 50%  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,5 \times 5,925 \text{ gr} = 2,9625 \text{ gr}$

- $m_{np}$  pada 30%  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,3 \times 5,925 \text{ gr} = 1,7775 \text{ gr}$

- ✓ Perhitungan massa nanopartikel untuk fraksi volume 0,6%  $\text{TiO}_2$

$$\varphi = \frac{V_{np}}{V_{np} + V_{bf}} \times 100$$

dimana :

$V_{np}$  = Volume nanopartikel

$V_{bf}$  = Volume fluida dasar (Aquadess)

$\varphi$  = Fraksi volume (0,6%)

$$\rho_{\text{TiO}_2} = 4230 \text{ kg/m}^3$$

$$\varphi = \frac{V_{np}}{V_{np} + V_{bf}} \times 100$$

$$0,6\% = \frac{V_{np}}{250 \text{ ml}}$$

$$0,006 = \frac{V_{np}}{250 \text{ ml}}$$

$$V_{np} = 1,5 \text{ ml}$$

$$m_{np} = V_{np} \times \rho_{np}$$

$$m_{np} = 1,5 \text{ ml} \times 4230 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{np} = 1,5 \text{ ml} \times 4230 \text{ kg/m}^3 \times$$

$$\frac{10^{-6} \text{ m}^3}{1 \text{ ml}}$$

$$m_{np} = 6,345 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$m_{np} = 6,345 \text{ gr}$$

KOMPOSISI (70%;50%;30%)

- $m_{np}$  pada 70%  $\text{TiO}_2 = 0,7 \times 6,345 \text{ gr} = 4,4415 \text{ gr}$
- $m_{np}$  pada 50%  $\text{TiO}_2 = 0,5 \times 6,345 \text{ gr} = 3,1725 \text{ gr}$

- $m_{np}$  pada 30%  $\text{TiO}_2 = 0,3 \times 6,345 \text{ gr} = 1,9035$

Lampiran 2 Contoh perhitungan mean dan SNR pada densitas

### Nilai Mean Densitas SAMPEL 1

$$\mu = \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\mu = \frac{1}{3} (1,005 + 1,004 + 0,997) \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 1,00200 \text{ g/cm}^3$$

### Nilai SNR Densitas SAMPEL 1

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[ \frac{1}{3} \left( \frac{1}{1,005^2} + \frac{1}{1,004^2} + \frac{1}{0,997^2} \right) \right]$$

$$\frac{S}{N} = 0,017190 \text{ dB}$$

Lampiran 3 Contoh perhitungan ANOVA densitas

### Nilai Mean seluruh percobaan

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{1,005 + 1,004 + \dots + 1,024}{27}$$

$$\bar{y} = 1,0079259 \text{ g/cm}^3$$

### Nilai Mean untuk setiap faktor, contoh = Faktor A, Level 1

$$\bar{\bar{y}} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n}$$

$$\bar{\bar{y}} = \frac{1,002 + 1,001333 + 1,003333}{3}$$

$$\bar{\bar{y}} = 1,002222 \text{ g/cm}^3$$

### Nilai total sum of square

$$SS_{total} = \sum y^2$$

$$SS_{total} = 1,005^2 + 1,004^2 \dots + 0,997^2$$

$$SS_{total} = 27,45095$$

**Nilai sum of squares due to mean**

$$mean(S_m) = n\bar{y}^2$$

$$mean(S_m) = 27 \times 1,0079259^2$$

$$mean(S_m) = 27,429696$$

**Nilai sum of squares due to factors, contoh = Faktor A**

$$SS_A = (n_{A1}x\bar{A}1^2) + (n_{A1}x\bar{A}2^2) + (n_{A1}x\bar{A}3^2) - S_m$$

$$SS_A = (9 \times 1,002^2) + (9 \times 1,008^2) + (9 \times 1,014^2) - 27,429696$$

$$SS_A = 0,004679852$$

**Nilai sum of squares due to error**

$$SS_{error} = SS_{total} - S_m - \sum S_j$$

$$SS_{error} = 27,45095 - 27,42969615 - [(0,004679852) + (0,004265852) + (0,004103852) + (0,004157852)]$$

$$SS_{error} = 0,004046444$$

**Nilai derajat kebebasan, contoh= faktor B**

$$DF_B = \text{jumlah level} - 1$$

$$DF_B = 3 - 1$$

$$DF_B = 2$$

**Nilai mean sum of squares, contoh untuk faktor A**

$$MS_A = \frac{SS_A}{DF_A}$$

$$MS_A = \frac{0,004679852}{2}$$

$$MS_A = 0,002339926$$

**Nilai Fratio, contoh untuk faktor A**

$$F_A = \frac{MS_A}{M_E}$$

$$F_A = \frac{0,002339926}{0,000224802}$$

$$F_A = 10,40881$$

**Nilai pure of sum squares, contoh untuk faktor A**

$$SS'_A = SS_A - DF_A \times M_e$$



$$SS'_A = 0,004679852 - [2 \times (0,000224802)]$$

$$SS'_A = 0,000423$$

**Nilai percent contribustion, contoh untuk faktor A**

$$\rho A = \frac{SS'_A}{SS_t} \times 100\%$$

$$\rho A = \frac{0,00423}{0,21254} \times 100\%$$

$$\rho A = 19,90344\%$$

Lampiran 4. Contoh perhitungan Selang Kepercayaan pada Densitas

**Perkiraan kondisi optimal**

Nilai rata-rata untuk seluruh dat ( $\bar{y}$ ) = 1,0079259 g/cm<sup>3</sup>

$$\mu_{perkiraan} = \bar{y} + (\bar{A}3 - \bar{y}) + (\bar{B}3 - \bar{y}) + (\bar{C}1 - \bar{y}) + (\bar{D}1 - \bar{y})$$

$$\begin{aligned} \mu_{perkiraan} &= 1,0079259 + (1,014 - 1,0079259) + (1,011 - 1,0079259) \\ &+ (1,010 - 1,0079259) + (1,010 - 1,0079259) \end{aligned}$$

$$\mu_{perkiraan} = 1,0212223$$

**Perhitungan selang kepercayaan**

$$Cl_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha;v1;v2} \times MS_e \times \frac{1}{neff}}$$

Dengan neff:

$$neff = \frac{\text{total number of experiment}}{\text{sum of degrees of freedom used in estimate of mean}}$$

$$neff = \frac{9 \times 3}{DF_{\mu} + DFA + DFB + DFC + DFD}$$

$$neff = \frac{27}{1 + 2 + 2 + 2 + 2}$$

$$neff = \frac{27}{9}$$

$$neff = 3$$

Maka, perhitungan selang kepercayaan sebagai berikut:

$$Cl_{mean} = \pm \sqrt{F_{0,05;1;18} \times 0,000224802 \times \frac{1}{3}}$$

$$Cl_{mean} = \pm \sqrt{4,41 \times 0,000224802 \times \frac{1}{3}}$$

$$Cl_{mean} = \pm 0,01817$$

**Sehingga didapatkan nilai rata-rata selang kepercayaan terhadap densitas, yaitu:**

$$\begin{aligned} \mu_{perkiraan} - Cl_{mean} &\leq \mu_{perkiraan} \leq \mu_{perkiraan} + Cl_{mean} \\ 1,0212223 - 0,01817 &\leq \mu_{perkiraan} \leq 1,0212223 + 0,01817 \\ 1,0030523 &\leq \mu_{perkiraan} \leq 1,03939231 \end{aligned}$$

Lampiran 5 Contoh perhitungan selang kepercayaan validasi densitas

**Perhitungan nilai Mean eksperimen validasi**

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{1,017 + 1,016 + 1,017}{3}$$

$$\bar{y} = 1,01633 \text{ g/cm}^3$$

**Perhitungan selang kepercayaan eksperimen validasi**

$$Cl_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha;v1;v2} \times MS_e \times \left[ \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

$$Cl_{mean} = \pm \sqrt{F_{0,05;1;18} \times MS_e \times \left[ \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

$$Cl_{mean} = \pm \sqrt{4,41 \times 0,000224802 \times \left[ \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \right]}$$

$$Cl_{mean} = \pm 0,025708$$

Kemudian menghasilkan nilai selang kepercayaan, yaitu:

$$\begin{aligned} \mu_{validasi} - Cl_{mean} &\leq \mu_{validasi} \leq \mu_{validasi} + Cl_{mean} \\ 1,01633 - 0,025708 &\leq \mu_{validasi} \leq 1,01633 + 0,025708 \\ 0,99062 &\leq \mu_{validasi} \leq 1,042038 \end{aligned}$$


Lampiran 6 Ftabel 0,05

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.48	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13

**KARTU ASISTENSI BIMBINGAN SKRIPSI**

Nama : Irvandy  
 NIM : 03051181823008  
 Program Studi : Teknik Mesin  
 Judul Skripsi : Karakterisasi Sifat Termofisik dan Stabilitas Fluida Nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>/Aquadest pada Fraksi Volume 0,2%,0,4%,0,6%  
 Pembimbing : Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D  
 NIP : 198106302006041001

No	Tanggal	Pokok Bahasan	Catatan	Paraf Dosen
1	10-04-2022	Penentuan Tema	Lanjutkan	<i>Barlin</i>
2	28-04-2022	Penentuan Judul	Lanjutkan	<i>Barlin</i>
3	15-05-2022	Judul Diterima	Acc	<i>Barlin</i>
4	7-06-2022	Asistensi Bab 1	Lanjutkan	<i>Barlin</i>
5	28-06-2022	Asistensi Bab 2	Lanjutkan	<i>Barlin</i>
6	14-07-2022	Asistensi Bab 3	Lanjutkan	<i>Barlin</i>
7	15-08-2022	Asistensi Bab 1,2,3	Acc	<i>Barlin</i>
8	05-11-2022	Asistensi Revisi Proposal Skripsi	Acc	<i>Barlin</i>
9	05-11-2022	Asistensi Pembuatan Skripsi	Lanjutkan	<i>Barlin</i>
10	16-11-2022	Asistensi Data Hasil Uji	Acc	<i>Barlin</i>
11	26-11-2022	Asistensi Pembahasan Hasil Data Uji	Acc	<i>Barlin</i>
12	3-12-2022	Laporan Perkembangan Skripsi	Acc	<i>Barlin</i>

13	15-12-2022	Pengecekan Format Skripsi	Acc	

Palembang, Desember 2022

Dosen Pembimbing



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

NIP. 1981063020060041001

# Karakterisasi Sifat Termofisik dan Stabilitas Fluida Nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>/Aquadess pada Fraksi Volume 0,2% , 0,4% , 0,6%

by 03051181823008 Irvandy

---

**Submission date:** 18-Jan-2023 08:30AM (UTC+0700)

**Submission ID:** 1994472340

**File name:** O2-Aquadess\_Pada\_Fraksi\_Volume\_0,2,,0,4,0,6\_-\_Irvandy\_Zhang.docx (235.66K)

**Word count:** 10402

**Character count:** 65781

# Karakterisasi Sifat Termofisik dan Stabilitas Fluida Nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>/Aquades pada Fraksi Volume 0,2% , 0,4% , 0,6%

---

## ORIGINALITY REPORT

---

**12%**

SIMILARITY INDEX

**9%**

INTERNET SOURCES

**2%**

PUBLICATIONS

**8%**

STUDENT PAPERS

---

## MATCH ALL SOURCES (ONLY SELECTED SOURCE PRINTED)

---

9%

★ Submitted to Sriwijaya University

Student Paper

---

---

Exclude quotes  On

Exclude matches  < 1%

Exclude bibliography  On

## SURAT KETERANGAN PENGECEKAN SIMILARITY

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Irvandy  
Nim : 03051181823008  
Prodi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik

Menyatakan bahwa benar hasil pengecekan similarity Skripsi. Penelitian yang berjudul Karakterisasi Sifat Termofisik dan Stabilitas Fluida Nano  $Al_2O_3-TiO_2$ /Aquadess adalah 12 %. Dicek oleh operator \*: 1. Dosen Pembimbing

②. UPT Perpustakaan

3. Operator Fakultas Teknik

Demikianlah surat keterangan ini saya buat dengan sebenarnya dan dapat saya pertanggung jawabkan.

Menyetujui  
Dosen pembimbing,



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

Indralaya, 18 Januari 2023

Yang menyatakan,



Irvandy  
NIM. 03051181823008

\*Lingkari salah satu jawaban tempat anda melakukan pengecekan Similarity





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
*Jalan raya Palembang-Prabumulih KM32. Indralaya-OI Telp Fax 0711-580272*

### SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Irvandy  
NIM : 03051181823008  
Tempat/tanggal lahir : Palembang, 20 Juli 2000  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Alamat Rumah : Jln. Dr.M.Isa Lrg Cinta Damai No.70 Palembang  
No.HP/email : 085269965290 / zhangirvandy20@gmail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi/Tesis/Disertasi saya yang berjudul : Karakterisasi Sifat Termofisik dan Stabilitas Fluida Nano  $Al_2O_3-TiO_2$ /Aquadess pada Fraksi Volume 0,2%,0,4%,0,6%.

Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau Sebagian dari Skripsi/Tesis/Disertasi tersebut terdapat indikasi plagiarism, saya bersedia menerima sanksi dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya

Palembang, 26 Januari 2023

  
METERAI  
TEMPEL  
10AJKX231067465 Irvandy  
NIM. 03051181823008