PENGARUH VARIASI PERSENTASE MIKROPARTIKEL CuO TERSUSPENSI PADA FLUIDA CAMPURAN *ETHYLENE GLYCOL*-AIR TERHADAP KARAKTERISTIK POMPA SENTRIFUGAL

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

HARRY FADHLI APRILIANDO AYJAT
NIM. 135060201111032

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2017

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

JUDUL SKRIPSI :

PENGARUH VARIASI PERSENTASE MIKROPARTIKEL CuO TERSUSPENSI PADA FLUIDA CAMPURAN *ETHYLENE GLYCOL*-AIR TERHADAP KARAKTERISTIK POMPA SENTRIFUGAL

Nama Mahasiswa	: Harry Fadhli Apriliando Ayjat
NIM	: 135060201111032
Program Studi	: Teknik Mesin
Konsentrasi	: Teknik Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING :

Dosen Pembimbing I	: Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT.
Dosen Pembimbing II	: Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji I	: Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
Dosen Penguji II	: Dr. Eng. Sofyan Arief Setyabudi, ST., M.Eng.
Dosen Penguji III	: Bayu Satria Wardana, ST., M.Eng.

Tanggal Ujian	: 7 Juni 2017
SK Penguji	: 639/UN10.6/SK/2017

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang dituliskan secara kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2013, Pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 31 Juli 2017

Mahasiswa,

METERAI TEMPEL
D49B0ADF618003877
6000
ENAM RIBU RUPIAH

Harry Fadhli Apriliando Ayjat

NIM. 135060201111032

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

RINGKASAN

Harry Fadhli Apriliando Ayjat, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Mei 2017, Pengaruh Variasi Persentase Mikropartikel CuO Tersuspensi Pada Fluida Campuran *Ethylene Glycol*-Air Terhadap Karakteristik Pompa Sentrifugal, Dosen Pembimbing : Lilis Yuliati dan Rudy Soenoko.

Penelitian mengenai peningkatan performa *heat exchanger* telah banyak dilakukan, salah satunya adalah dengan penggantian fluida kerja yang digunakan. Salah satunya adalah penggunaan fluida kerja campuran *ethylene glycol*-air yang mana akan meningkatkan titik didih dan menurunkan titik beku dari fluida kerja sehingga dapat dioperasikan pada suhu ekstrem. Untuk tetap menjaga nilai konduktivitas termal yang tinggi maka ditambahkan nanopartikel CuO kedalam fluida tersebut. Hal ini akan mempengaruhi performa dari pompa yang mengoperasikan *heat exchanger*. Dalam penelitian yang bersifat eksperimental ini dilakukan analisa mengenai pengaruh penggunaan fluida kerja campuran *ethylene glycol*-air dengan penambahan nanopartikel CuO dengan persentase 0%, 0,5%, 1%, 1,5% dan 2% terhadap karakteristik dari pompa sentrifugal. Karakteristik tersebut meliputi head pompa, torsi, daya poros, daya air, dan efisiensi dari pompa sentrifugal. Penelitian ini diamati pada kapasitas pompa yang berbeda-beda yaitu meliputi kapasitas sebesar 0,00006 m^3/s, 0,00005 m^3/s, 0,00004 m^3/s, 0,00003 m^3/s, 0,00002 m^3/s, dan 0,00001 m^3/s. Setelah dilakukan penelitian ternyata didapatkan hasil bahwa dengan penggunaan fluida campuran *ethylene glycol*-air dan peningkatan persentase jumlah nanopartikel CuO yang ditambahkan akan meningkatkan nilai torsi dan daya motor yang mana nilai tertinggi didapatkan pada fluida campuran *ethylene glycol*-air dengan persentase CuO sebesar 2%. Sedangkan nilai head, daya air dan efisiensi mengalami penurunan yang mana nilai terendah juga didaptkan pada penggunaan fluida campuran *ethylene glycol*-air dengan persentase CuO sebesar 2%.

Kata Kunci : heat exchanger, fluida campuran *ethylene glycol-air*, nanopartikel CuO, karakteristik pompa sentrifugal

repository.ub.ac.id

SUMMARY

Harry Fadhli Apriliando Ayjat, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Mei 2017, Influence of Suspended CuO Microparticle Percentage in Ethylene Glycol-Water Fluid on the Centrifugal Pump Characteristic, Academic Supervisor : Lilis Yuliati and Rudy Soenoko.

Research about improvement method of heat exchanger performance have done a lot, one of them is about changing the fluid that use in the heat exchanger. For the example is the use of ethylene glycol-water as the working fluid which increased the boiling point and decreased the freezing point of the working fluid, so that it can applies in extreme condition. In order to keep the thermal conductivity in the high point, CuO nanoparticles are filled in the fluid. This method will influences the pump performances that used in a heat exchanger. In this research, the effect of using ethylene glycol-water with CuO nanoparticle with mass percentage 0%, 0,5%, 1%, 1,5% and 2% as the working fluid on the centrifugal pump performances will analyzed. The characteristics of the pump are head, torque, shaft power, water power and efficiency. This research data is taking in different capacity which are 0,00006 m^3/s, 0,00005 m^3/s, 0,00004 m^3/s, 0,00003 m^3/s, 0,00002 m^3/s, and 0,00001 m^3/s. After the data result is done, it can conclude that with using ethylene glycol-water with CuO nanoparticle as the working fluid, it will increase the torque and the shaft power, and the highest point is shown in the fluid with 2% percentage of CuO. At the same time, head, water power and efficiency are decreasing with the lowest point is shown in the fluid with 2% percentage of CuO.

Keywords : Heat exchanger, ethylene glycol-water mixing fluid, CuO nanoparticle, centrifugal pump characteristic

DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Perubahan Nilai Viskositas Terhadap Konsentrasi Partikel	5
Gambar 2.2	Aliran *Inviscid* dan Aliran *Viscous*	7
Gambar 2.3	Aliran Internal dan Eksternal	8
Gambar 2.4	Aliran Laminar, Transisi, dan Turbulen	8
Gambar 2.5	Fluida Natural Pada Plat Miring	9
Gambar 2.6	Sifat Fluida di Antara Dua Plat Paralel Ketika Plat Atas Bergerak dengan Kecepatan Konstan	11
Gambar 2.7	Aliran Fluida Berdasarkan Hukum Kontinuitas	12
Gambar 2.8	Skema Aplikasi Persamaan Bernoulli	13
Gambar 2.9	Kondisi Aliran Ketika Masuk Pipa	14
Gambar 2.10	Contoh Penerapan Pompa	19
Gambar 2.11	Konstruksi Dasar Pompa Sentrifugal	21
Gambar 3.1	Pompa sentrifugal	28
Gambar 3.2	*Vacuum gauge*	29
Gambar 3.3	*Pressure Gauge*	29
Gambar 3.4	*Flowmeter*	30
Gambar 3.5	Bak Penampung	31
Gambar 3.6	*Gate Valve*	31
Gambar 3.7	Neraca Pegas	32
Gambar 3.8	Timbangan Digital	32
Gambar 3.9	Skema Instalasi Penelitian	33
Gambar 4.3	Pengaruh Kapasitas Dan Persentase Mikropartikel Tembaga Oksida Terhadap Head Pompa Sentrifugal	44
Gambar 4.4	Pengaruh Kapasitas Dan Persentase Mikropartikel Tembaga Oksida Terhadap Torsi Pompa Sentrifugal	45
Gambar 4.5	Pengaruh Kapasitas Dan Persentase Mikropartikel Tembaga Oksida Terhadap Daya Poros Pompa Sentrifugal	47
Gambar 4.6	Pengaruh Kapasitas Dan Persentase Mikropartikel Tembaga Oksida Terhadap Daya Air Pompa Sentrifugal	48
Gambar 4.7	Pengaruh Kapasitas Dan Persentase Mikropartikel Tembaga Oksida Terhadap Efisiensi Pompa Sentrifugal	49

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR ISI

Halaman

PENGANTAR i

DAFTAR ISI iii

DAFTAR TABEL v

DAFTAR GAMBAR vi

RINGKASAN vii

SUMMARY viii

BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 Penelitian Sebelumnya 5
2.2 Fluida 7
2.3 *Properties* Fluida Cair 9
2.4 Fluida Dinamis 11
2.4.1 Persamaan Kontinuitas 11
2.4.2 Persamaan Bernoulli 12
2.4.3 Bilangan Reynolds 13
2.4.4 *The Entrance Region* 14
2.5 Fluida Dasar 16
2.6 Mikropartikel 17
2.7 Fluida Dengan Partikel Tersuspensi 17
2.8 Pompa 19
2.8.1 Pompa Sentrifugal 20
2.8.2 Karakteristik Pompa Sentrifugal 21
2.9 Hipotesis 26

BAB III METODE PENELITIAN **27**
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 27
3.2 Variabel Penelitian 27
3.3 Alat alat Penelitian 28
3.4 Skema Instalasi Penelitian 32
3.5 Prosedur Pengambilan Data Penelitian 33
3.6 Diagram Alir Penelitian 35

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN **37**
4.1 Hasil Penelitian 37
4.2 Contoh Perhitungan 39

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

4.3 Analisa dan Pembahasan 43
4.3.1 Pengaruh Kapasitas dan Persentase Mikropartikel Tembaga Oksida Terhadap Head Pompa Sentrifugal 43
4.3.2 Pengaruh Kapasitas dan Persentase Mikropartikel Tembaga Oksida Terhadap Torsi Pompa Sentrifugal 44
4.3.3 Pengaruh Kapasitas dan Persentase Mikropartikel Tembaga Oksida Terhadap Daya Poros Pompa Sentrifugal 46
4.3.4 Pengaruh Kapasitas dan Persentase Mikropartikel Tembaga Oksida Terhadap Daya Air Pompa Sentrifugal 47
4.3.5 Pengaruh Kapasitas dan Persentase Mikropartikel Tembaga Oksida Terhadap Efisiensi Pompa Sentrifugal 49

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 53
5.1 Kesimpulan 53
5.2 Saran 53

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Pangkalan Data Jumlah Publikasi Pada Scopus	18
Tabel 2.2.	Konduktivitas Termal dan Logam Fluida Pemanas	19
Tabel 4.1.	Data Penelitian	37
Tabel 4.2.	Data Penelitian Hasil Konversi	38
Tabel 4.3.	Tabel Data Hasil Perhitungan	43

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah Subhana Wa Ta'ala atas segala limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul, "**Pengaruh Variasi Persentase Mikropartikel CuO Tersuspensi Pada Fluida Campuran *Ethylene Glycol*-Air Terhadap Karakteristik Pompa Sentrifugal**" ini dengan baik. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad Shallallahu Alaihi Wasallam.

Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu, membimbing, memberi petunjuk, dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini :

1. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Ayang Basri dan Ibunda Nurhayati, dan kakak Havri Muasuri N.A. serta adik Sekar Cahyani A.A. , terimakasih tak terhingga atas seluruh doa, nasihat, dan dukungan yang telah diberikan.
2. Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT. selaku dosen pembimbing I yang telah memberi banyak saran, masukan, motivasi dan semangat dalam penyusunan skripsi.
3. Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan motivasi dan saran, sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi tepat waktu.
4. Majelis penguji dalam ujian sarjana/komprehensif.
5. Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M. Eng. selaku Ketua Jurusan dan Purnami, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran proses administrasi.
6. Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran administrasi.
7. Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Teknik Konversi Energi.
8. Seluruh dosen pengajar, staf, dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuannya untuk mendukung penyusunan skripsi ini.
9. Kawan skripsi Arel dan Fauzan yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.
10. Keluarga Besar Aerokreasi Mesin UB yang tidak dapat disebutkan satu persatu

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

11. Teman-teman asisten laboratorium mesin-mesin fluida yang telah membantu memberikan fasilitas dalam penelitian ini.
12. Teman-teman asisten studio gambar yang telah mengizinkan penulis mengerjakan skripsi pada ruangan asisten dalam jangka waktu yang panjang.
13. Keluarga Konstruksi Energi tercinta yang selalu ada disaat penulis dalam keadaan susah maupun senang.
14. Teman-teman seperjuangan Mesin 2013 '*Susah Seneng Tanggung Bareng*', terimakasih atas solidaritas, kebersamaan, dan semua kenangan manis yang tak akan terlupakan.
15. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
16. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi penyusunan skripsi dengan baik.

Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna bagi kita semua sehingga dapat menjadi acuan untuk penelitian lebih lanjut untuk kemajuan kita bersama.

Malang, Juli 2017

Penulis

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI PERSENTASE MIKROPARTIKEL CuO TERSUSPENSI PADA FLUIDA CAMPURAN *ETHYLENE GLYCOL*-AIR TERHADAP KARAKTERISTIK POMPA SENTRIFUGAL

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

HARRY FADHLI APRILIANDO AYJAT
NIM. 135060201111032-62

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 31 Juli 2017

DOSEN PEMBIMBING I	DOSEN PEMBIMBING II
Dr.Eng. Lilis Yuliati, ST.,MT.	**Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.**
NIP. 19750702 200003 2 001	**NIP. 19490911 198403 1 001**

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

Universitas Brawijaya
repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri, kebutuhan terhadap alat penukar panas atau yang biasa disebut dengan *heat exchanger* sangatlah tinggi. Hal ini disebabkan karena pertukaran panas sangatlah penting dalam melanjutkan proses dari suatu siklus kerja. Pertukaran panas juga memberikan pengaruh yang besar terhadap efisiensi sistem. Hal ini memicu munculnya berbagai penelitian untuk meningkatkan efisiensi dari *heat exchanger* ,(Kabeel et al, 2012). Secara umum, peningkatan efisiensi dari *heat exchanger* dapat dilakukan dengan melakukan penambahan luas permukaan perpindahan panas, namun cara ini tidak fleksibel karena harus merubah konstruksi dari *heat exchanger* itu sendiri. Oleh karena itu digunakan cara lain untuk meningkatkan efisiensi dari *heat exchanger* yaitu dengan meningkatan koefisien perpindahan panas dari fluida kerja.

Peningkatan perpindahan panas dari fluida kerja dapat dilakukan dengan mengganti jenis fluida konvensional (air) dengan fluida yang memiliki kemampuan menghantarkan panas yang lebih baik yaitu fluida dengan partikel tersuspensi. Penggunaan fluida dengan partikel tersuspensi sebagai fluida kerja merupakan suatu cara baru dalam inovasi *heat exchanger*. Fluida dengan partikel tersuspensi dirancang dengan cara menambahkan partikel-partikel kecil pada sebuah fluida konvensional. Penambahan partikel tersebut mampu meningkatkan kemampuan menghantarkan panas dari fluida hingga 40% (Choi et al, 1999).

Selain itu, penggantian jenis fluida dasar yang berbeda juga mampu digunakan untuk meningkatkan performa dari *heat exchanger*. Sebagaimana yang dijelaskan dalam penelitian Xu et al. (2015) bahwa peningkatan konduktivitas termal tidak hanya bergantung pada konsentrasi penambahan partikel dan temperatur saja, melainkan juga dipengaruhi oleh *properties* dari fluida yang digunakan. Contohnya adalah penggantian fluida kerja air oleh *ethylene glycol* pada daerah dengan suhu ekstrem. Dengan titik beku yang lebih rendah dan titik didih yang lebih tinggi, *ethylene glycol* mampu beroperasi di daerah dengan suhu -10°C tanpa menyebabkan pembekuan pada fluida kerjanya. Namun, *ethylene glycol* memiliki konduktivitas termal yang jauh lebih rendah dibandingkan air.

Dalam mengatasi masalah tersebut, pencampuran antara air dan *ethylene glycol* sebagai fluida kerja dapat dilakukan, sehingga mampu meningkatkan titik didih dan titik beku fluida campuran, dengan tetap menjaga nilai konduktivitas termal fluida kerja. Selain

itu, dengan melakukan penambahan mikropartikel CuO (Tembaga Oksida) pada fluida kerja juga akan menambah konduktivitas termal dari campuran (Eastman et al, 2001).

Untuk menerapkan teknologi fluida dengan partikel tersuspensi ini dalam suatu *heat exchanger*, kebutuhan akan pompa tidak dapat dihindarkan, karena fluida kerja tetap harus dialirkan agar terjadi perpindahan panas secara terus menerus. Pompa adalah alat yang digunakan untuk memindahkan cairan (fluida) darisuatu tempat ke tempat yang lain,melalui media pipa (saluran) dengan cara menambahkan energi pada cairan yang, dipindahkan. Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian isap (*suction*) dan, bagian tekan (*discharge*) (Musyafa et al, 2015). Diantara banyaknya tipe pompa, yang paling sering digunakann pada *heat exchanger* adalah pompa sentrifugal. Pompa sentrifugal banyak digunakan karena daerah operasinya yang luas yaitu dari tekanan rendah hingga tekanan tinggi dan dari kapasitas rendah hingga kapasitas tinggi. Selain itu pompa sentrifugal juga mempunyai bentuk yang sederhana dan harga yang relatif murah (Bramantya et al, 2007).

Dalam perkembangan teknologi fluida dengan partikel tersuspensi pada *heat exchanger*, penelitian mengenai pengaruh penggunaan fluida kerja fluida dengan partikel tersuspensi terhadap performa perpindahan panas dari *heat exchanger* telah banyak dilakukan. Namun penelitian mengenai pengaruh penggunaan fluida dengan partikel tersuspensi terhadap performa pompa, terutama pompa berjenis sentrifugal yang merupakan pompa yang digunakan pada *heat exchanger* pada umumnya masih belum dikembangkan hingga kini. Jika dianalisa lebih mendalam, dengan adanya penambahan fluida dengan partikel tersuspensi pada fluida yang mengalir di *heat exchanger* juga akan mempengaruhi performa dari pompa yang mengalirkan fluida dengan partikel tersuspensi tersebut, pengaruh tersebut meliputi nilai kapasitas, head, torsi, daya poros, daya air, dan efisiensi dari pompa.

Dengan beberapa jenis mikropartikel dan fluida penukar panas yang tersedia saat ini, pemilihan mengenai kombinasi fluida dan mikropartikel yang benar agar memberikan dampak yang baik harus dianalisa terlebih dahulu. Selain itu, komposisi jumlah atau persentase dari mikropartikel yang ditambahkan dalam fluida juga harus dianalisa, karena dengan jumlah yang berbeda maka akan memberikan efek yang berbeda terhadap sifat aliran seperti pada viskositas aliran, konduktivitas termal fluida dan lain-lain.

Berdasarkan latarbelakang yang telah disebutkan sebelumnya, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai analisis pengaruh variasi persentase mikropartikel dan variasi fluida dengan partikel tersuspensi terhadap karakteristik pompa csentrifugal. Dimana

mikropartikel yang akan digunakan adalah CuO dan jenis fluida dengan partikel tersuspensi yang digunakan adalah campuran antara air dan *ethylene glycol*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan-masalah dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi persentase massa mikropartikel dalam fluida dengan partikel tersuspensi *ethylene glycol*-air terhadap karakteristik pompa sentrifugal. Karakteristik tersebut meliputi kapasitas, head, torsi, daya poros, daya air, dan efisiensi.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan pada penelitian ini tidak meluas, maka dalam penulisan skripsi ini diberikan batasan sebagai berikut.

1. Aliran fluida dianggap *steady* dan mengalir sepanjang *streamline*.
2. Pengambilan data diambil pada *turbulent fully developed region*.
3. Campuran mikropartikel dengan fluida dasar dianggapa homogen.
4. Temperatur ruangan dan tekanan ruangan dianggap konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui apa pengaruh dari penggunaan fluida campuran *ethylene glycol*-air terhadap nilai head, torsi, daya poros, daya air, dan efisiensi dari pompa sentrifugal?
2. Mengetahui apa pengaruh penambahan persentase jumlah mikropartikel CuO dari 0%, 0,5%, 1%, 1,5% dan 2% ke dalam fluida campuran *ethylene glycol*-air terhadap nilai head, torsi, daya poros, daya air, dan efisiensi dari pompa sentrifugal?

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Sebagai lahan penerapan ilmu pengetahuan perkuliahan dalam bidang penelitian tentang Pompa sentrifugal
2. Sebagai referensi dalam penelitian mengenai fluida dengan partikel tersuspensi sebagai fluida kerja pompa sentrifugal
3. Sebagai bahan referensi bagi penelitian selanjutnya.
4. Menambah wawasan mengenai proses pengujian karakteristik pompa sentrifugal.

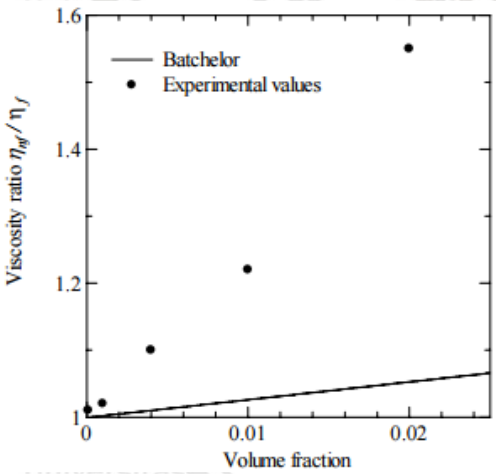
repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
Universitas Brawijaya

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai perpindahan kalor dengan cara konveksi melalui *nano particle suspension* dan air, dimana air berfungsi sebagai fluida dasar telah dilakukan oleh Torii (2007) dengan hasil bahwa hal tersebut menyebabkan terjadinya perubahan pada nilai konduktivitas termal serta menyebabkan terjadinya peningkatan nilai viskositas dari fluida. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Bozorgan et al. (2012) juga memperkuat penyataan tersebut dengan hasil penelitian yang menyatakan bahwa penambahan mikropartikel pada fluida dasar air akan menyebabkan peningkatan densitas dan viskositas pada fluida campuran tersebut. Penentuan nilai viskositas suatu fluida dengan penambahan partikel dilakukan menggunakan metode *Batchelor modelling* yang merupakan metode matematis yang dipopulerkan oleh Batchelor dan Einstein (Labanda et al, 2004).



Gambar 2.1 Perubahan nilai viskositas terhadap konsentrasi partikel
Sumber: Torii (2007,p.354)

Penggunaan metode penambahan partikel logam dalam dunia industri yang mulai berkembang menyebabkan banyak penelitian dilakukan. Contohnya pada penelitian mengenai penambahan mikropartikel CuO (Tembaga Oksida) pada fluida air yang dilakukan oleh Bozorgan et al. (2012) yang menyatakan bahwa terjadinya peningkatan koefisien perpindahan panas pada fluida yang dicampurkan dengan CuO dengan konsentrasi yang terus meningkat dan juga terjadi peningkatan pada densitas dan viskositas pada fluida dengan terus meningkatnya kadar mikropartikel CuO yang ditambahkan.

Selain penambahan mikropartikel pada fluida, salah satu cara untuk memenuhi kebutuhan atas performa *heat exchanger* yang lebih baik, penggantian jenis fluida kerja juga bisa dilakukan. Sebagaimana yang dijelaskan dalam penelitian Xu et al. (2015) bahwa peningkatan konduktivitas termal tidak hanya bergantung pada konsentrasi penambahan partikel dan temperatur saja, melainkan juga dipengaruhi oleh *properties* dari fluida yang digunakan. Salah satu contohnya adalah pada penggantian air oleh *ethylene glycol* sebagai fluida kerja pada *heat exchanger* di daerah yang sangat dingin karena memiliki titik didih yang lebih tinggi dan titik beku yang lebih rendah dari pada air (Haq et al, 2016). Selain itu dengan penggunaan *ethylene glycol* sebagai fluida kerja secara tidak langsung juga akan memberikan pengaruh pada sistem karena densitas dan viskositas *ethylene glycol* yang lebih tinggi dari pada air.

Namun, *ethylene glycol* memiliki kelemahan yaitu konduktivitas termal yang lebih rendah dari pada air. Untuk menangani masalah itu, penambahan mikropartikel CuO pada fluida kerja *ethylene glycol* dilakukan untuk tetap menjaga performa *heat exchanger*. Sebagaimana yang dijelaskan oleh Eastman et al. (2001) bahwa dengan pencampuran 0.3% (persen volume) mikropartikel CuO dengan *ethylene glycol* sebagai fluida kerja, mampu memberikan hasil berupa peningkatan konduktivitas termal *heat exchanger* sebesar 40%. Akan lebih baik lagi apabila fluida kerja yang digunakan terdiri dari campuran *ethylene glycol* dan air sehingga kapasitas titik beku dan titik didih tetap meningkat dengan nilai konduktivitas termal yang tetap tinggi. Sebagaimana yang telah diketahui sebelumnya, dengan adanya penambahan mikropartikel CuO dan juga penggantian fluida kerja dari air menjadi campuran *ethylene glycol* dan air, maka densitas dari fluida kerja akan meningkat dan juga akan berdampak kepada viskositas fluida kerja yang semakin tinggi.

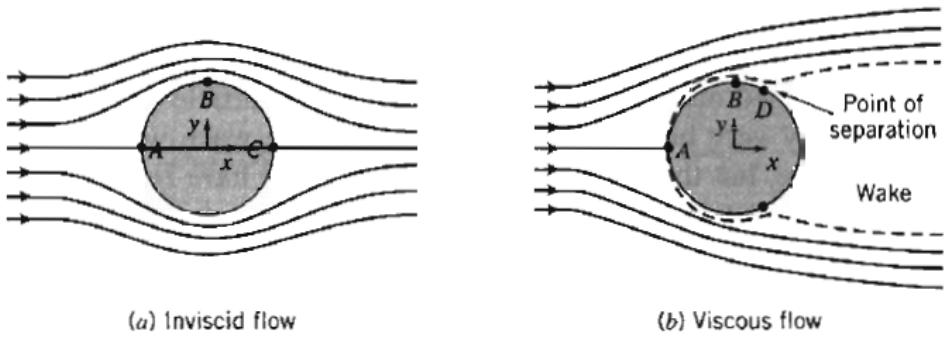
Dengan adanya pengaruh tersebut, maka hal ini akan mempengaruhi kinerja dari pompa yang digunakan. Menurut penelitian Arijanto et al. (2015) didapatkan kesimpulan bahwa dengan semakin tingginya nilai viskositas fluida yang dialirkan, maka nilai dari *head* pompa akan semakin mengecil dan daya poros dari pompa akan semakin membesar. Selain itu, nilai debit dari pompa yang digunakan akan semakin kecil juga dan pada akhirnya nilai efisiensi dari pompa akan mengalami penurunan.

Pada penelitian ini, penulis akan memvariasikan jumlah mikropartikel CuO yang akan ditambahkan pada campuran *ethylene glycol*-air sebagai fluida kerja pompa, dimana hasil tersebut akan dibandingkan dengan pengaruh penambahan CuO pada fluida kerja air biasa.

2.2 Fluida

Menurut Ridwan (1999) pengertian dari fluida adalah zat dengan karakteristik tidak dapat menahan tegangan geser tanpa adanya perubahan bentuk. Penyebabnya adalah sifat fluida yang selalu memperlihatkan adanya perubahan bentuk ketika adanya tegangan geser yang dikenakan padanya. Berbeda dengan zat padat dimana akan memberi reaksi deformasi hingga ukuran tertentu ketika diberi tegangan geser. Selain itu, Fox et al. (2003) juga memberikan definisi yang tidak jauh berbeda yaitu dengan mengartikan fluida sebagai zat yang akan mengalami deformasi setiap diberikan tegangan geser dengan nilai yang sangat kecil pun.

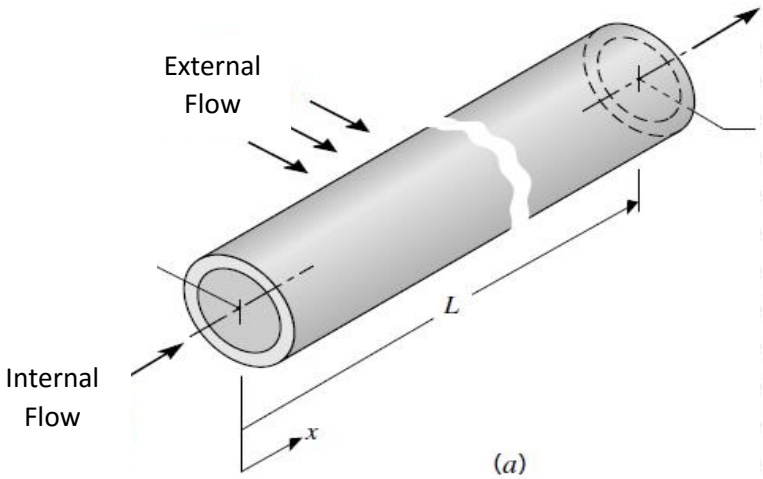
Dalam pengklasifikasian aliran fluida secara umum, berdasarkan sumber Cengel dan Cimbala (2006), pengklasifikasian aliran fluida dibedakan berdasarkan beberapa patokan. Pertama–tama menurut pengaruh gaya gesek yang dihasilkan oleh fluida. Berdasarkan hal ini, aliran fluida dibedakan menjadi *viscous flows* dan *inviscid flows. Inviscid flows* adalah jenis aliran fluida yang tidak memperlihatkan adanya pengaruh gaya gesek yang signifikan sehingga sering diabaikan. Sebaliknya, *viscous flows* adalah jenis aliran yang memperlihatkan adanya pengaruh gaya gesek yang signifikan.



\

Gambar 2.2 Aliran *inviscid* dan aliran *viscous*
Sumber: Fox et al. (2004,p.37)

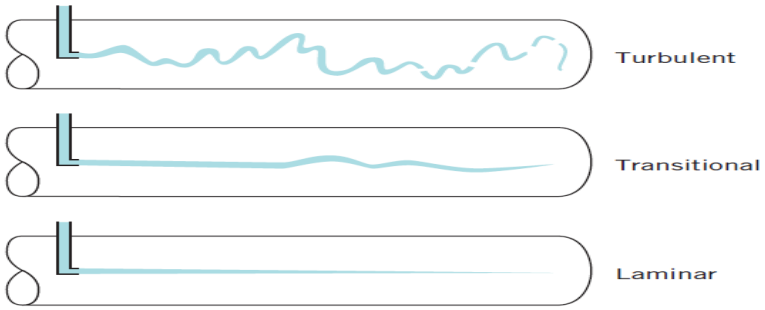
Jenis aliran fluida yang kedua adalah penggolongan berdasarkan daerah dari fluida yang dikenakan gaya. Disini aliran fluida dibedakan menjadi aliran dalam (*internal flow)* dan aliran luar (*external flow).* Aliran dalam merupakan aliran yang mana fluidanya mengalir didalam suatu saluran, seperti aliran pada pipa. Sedangkan aliran luar merupakan aliran fluida yang mana alirannya tidak tergantung dengan saluran dan mengalir melalui permukaan luar.



Gambar 2.3 Aliran internal dan eksternal
Sumber: Moran et al. (2003,p.632)

Jenis berikutnya digolongkan berdasarkan kemampuan dari fluida itu untuk dimampatkan. Disini, fluida dipisahkan menjadi *compressible fluid* dan *incompressible fluid*. Fluida dengan karakteristik nilai *density* yang bisa berubah ketika mengalir disebut *compressible fluid*. Sedangkan fluida yang tidak dapat mengalami perubahan nilai *density* disebut sebagai *incompressible fluid.*

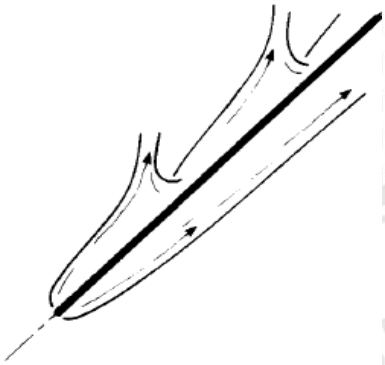
Menurut sifat dari aliran suatu fluida, diklasifikasikanlah tiga jenis aliran yang berbeda yaitu aliran fluida laminar, aliran fluida turbulen dan aliran fluida transisi. Aliran laminar merupakan aliran yang terlihat halus seperti garis-garis lurus, sedangkan aliran turbulen merupakan aliran fluida yang memiliki kecepatan yang mengalami fluktuasi dan terlihat kasar. Dan aliran transisi merupakan aliran fluida yang kondisinya baik kecepatan maupun bentuknya berada di antara atau di tengah tengah dari sifat aliran turbulen dan aliran laminar.



Gambar 2.4 Aliran laminar, transisi, dan turbulen
Sumber: Munson et al. (2009,p.385)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Menurut penyebab fluida tersebut mengalir, aliran fluida dibedakan menjadi aliran alami dan aliran paksa. Aliran alami adalah fluida yang mampu mengalir tanpa adanya gaya tambahan yang digunakan untuk mengalirkan fluida, sedangkan aliran paksa adalah aliran fluida yang membutuhkan adanya gaya tambahan untuk menyebabkan fluida tersebut mampu mengalir.



Gambar 2.5 Fluida natural pada plat miring
Sumber: Lienhard IV dan Lienhard V (2006,p.421)

Dan yang terakhir adalah menurut kondisi fluida terhadap dimensi waktu. Disini, aliran fluida dibedakan menjadi *steady flow* dan *unsteady flow. Steady flow* adalah aliran fluida yang memiliki kondisi seragam di setiap titik aliran dan akan tetap seperti itu setiap waktu, sedangkan *unsteady flow* adalah aliran fluida yang memiliki kondisi yang berbeda-beda dan kondisinya akan berubah ketika terjadi perubahan waktu.

2.3 *Properties* Fluida Cair

1. Densitas

Densitas atau massa jenis fluida merupakan nilai dari massa fluida per satuan volume yang dihitung pada nilai temperatur dan tekanan tertentu. Densitas biasa ditulis dengan simbol (ρ). Dalam perhitungan, persamaan dari densitas dapat ditulis:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (kg/m^3) \qquad (2\text{-}1)$$

dimana : m = massa (kg)

ρ = massa jenis (kg/m^3)

v = volume (m^3)

2. Berat Jenis

Setiap zat memiliki berat jenis yang berbeda-beda. Berat jenis pada fluida dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara nilai berat fluida dengan volume dari fluida.

Berat jenis juga sering disebut sebagai berat spesifik. Dalam perhitungan untuk mengetahui nilai dari berat jenis fluida, digunakan persamaan:

$$\gamma = \frac{m\ x\ g}{v} \quad (N/m^3) \qquad (2\text{-}2)$$

Persamaan diatas juga dapat ditulis dengan persamaan:

$$\gamma = \rho\ g \quad (N/m^3) \qquad (2\text{-}3)$$

dimana : γ = berat jenis (N/m^3)

m = massa (kg)

ρ = massa jenis (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

v = volume (m^3)

3. *Spesific Gravity*

Spesific gravity yang biasa disebut dengan istilah densitas relatif merupakan bilangan tak berdimensi yang diperoleh dari perbandingan antara nilai densitas suatu zat dibandingkan dengan nilai densitas dari zat standar pembanding air pada temperatur 4°C. Persamaan dari *specific gravity* dapat ditulis:

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{H2O}} \qquad (2\text{-}4)$$

dimana : ρ = massa jenis (kg/m^3)

ρ_{H2O} = massa jenis (kg/m^3)

4. Viskositas

Viskositas merupakan properties dari fluida yang sering dianalisa karena sangat mempengaruhi sifat suatu aliran. Viskositas fluida memiliki arti sebagai ukuran ketahanan suatu fluida terhadap adanya tegangan geser. Viskositas atau yang juga sering disebut dengan viskositas absolut terjadi karena adanya gesekan internal yang terus berkembang di tiap lapisan fluida karena lapisan-lapisan itu dipaksa untuk bergerak secara relatif satu dan lainnya. Disamping itu, adanya gaya kohesi partikel pada zat cair juga menjadi penyebab terjadinya viskositas pada suatu fluida. Viskositas suatu fluida sangat dipengaruhi oleh tegangan geser. Tegangan geser sendiri adalah gaya tangensial yang dikenakan per satuan luasan pada fluida. Untuk mengetahui keterkaitan antara viskositas dan tegangan geser, dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (N/m^2) \qquad (2\text{-}5)$$

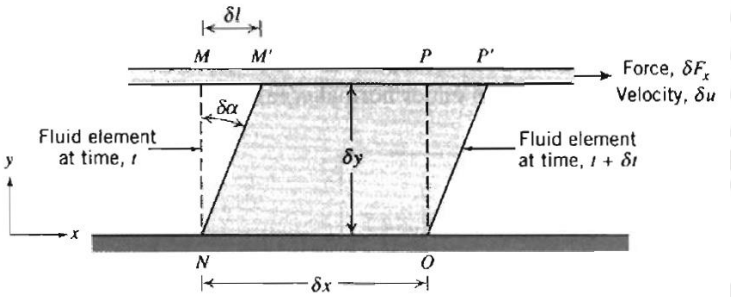
keterangan: μ = viskositas absolut (kg/m.s)

τ = tegangan geser (N/m^2)

du = komponen kecepatan (m/s)

dy = kompnen arah (m)

Untuk mengetahui lebih jelasnya mengenai hubungan viskositas dengan gaya geser, dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Sifat fluida di antara dua plat paralel ketika plat atas bergerak dengan kecepatan konstan
Sumber: Fox et al. (2004,p.27)

Dalam pembahasan viskositas, istilah viskositas kinematik juga merupakan hal yang selalu disebutkan. Ini disebabkan oleh nilai dari rasio viskositas absolut dan densitas suatu zat sering diperoleh dalam penerapan ilmu mengenai mekanika fluida dan perpindahan panas. Sedangkan pengertian dari viskositas kinematik sendiri adalah nilai yang didapat dari perbandingan antara nilai viskositas absolut dari suatu fluida dibandingkan dengan densitas fluida. Dalam perhitungan, viskositas kinematik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$v = \frac{\mu}{\rho} \qquad (2\text{-}6)$$

keterangan : v = viskositas kinematik (m^2/s)

ρ = densitas (kg/m^3)

μ = viskositas absolut (kg/m.s)

2.4 Fluida Dinamis

2.4.1 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas merupakan persamaan yang diperoleh dari penerapan hukum kekekalan massa yang diterapkan pada fluida dinamis dengan penjelasan bahwa jumlah dari fluks massa alir fluida yang melewati suatu sistem terbatas (*control volume)* yang tertutup

akan selalu bernilai tetap (Ridwan, 1999). Serupa dengan hal tersebut, Cengel dan Cimbala (2006) mengatakan bahwa jumlah dari fluks massa alir fluida yang masuk ke suatu kontrol volume akan sama dengan jumlah fluks massa alir yang keluar dari kontrol volume tersebut.

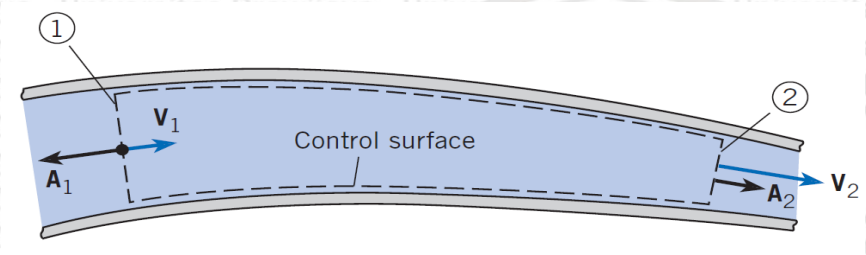
$$\dot{m}_1 - \dot{m}_2 = \frac{dm_{cv}}{dt} = 0 \quad \text{(2-7)}$$

Sehingga

$$\dot{m}_1 - \dot{m}_2 = 0 \quad \text{(2-8)}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad \text{(2-9)}$$

$$(\rho\ A\ v)_1 = (\rho\ A\ v)_2 \quad \text{(2-10)}$$



Gambar 2.7 Aliran fluida berdasarkan hukum kontinuitas
Sumber: Crowe et al. (2009,p.135)

Apabila persamaan tersebut diterapkan menggunakan sifat dari fluida *incompressible* dengan tidak adanya perubahan pada nilai densitas maka dapat ditulis

$$A_1\ v_1 = A_2\ v_2 \quad \text{(2-11)}$$

Keterangan :

A_1 = luas penampang daerah masuk (m^2)

A_2 = luas penampang daerah keluar (m^2)

v_1 = kecepatan aliran pada sisi penampang masuk (m/s)

v_2 = kecepatan aliran pada sisi penampang keluar (m/s)

dm_{cv} = perubahan massa pada kontrol volume (kg)

dt = perubahan nilai waktu (s)

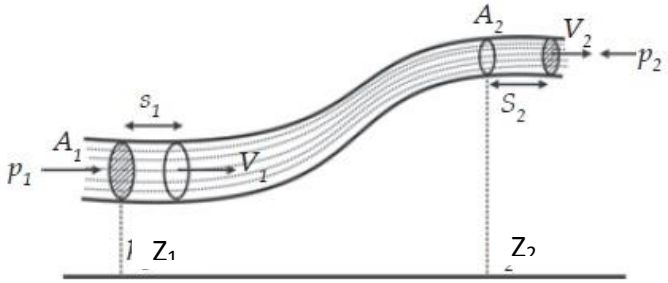
$\dot{m}_1$ = massa alir pada sisi penampang masuk (kg/s)

$\dot{m}_2$ = massa alir pada sisi penampang keluar (kg/s)

2.4.2 Persamaan Bernoulli

Berdasarkan sumber dari Cengel dan Cimbala (2006), persamaan Bernoulli didefinisikan sebagai persamaan fluida yang menghubungkan antara nilai kecepatan, tekanan dan elevasi dan dapat diterapkan apabila fluida yang dipakai adalah fluida

incompressible, dengan aliran *steady*, serta tidak ada gaya gesek yang bekerja (*inviscid fluid)*. Sedangkan menurut Fox et al. (2003), hal serupa pun dikatakan mengenai persamaan Bernoulli namun dengan adanya syarat tambahan yaitu penerapan prinsip Bernoulli hanya dapat dilakukan di sepanjang *streamline* suatu aliran.



Gambar 2.8 Skema aplikasi persamaan Bernoulli
Sumber: Ridwan (1999,p.27)

Sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar 2.8, dapat dilihat pada posisi 1, tekanan pada air bernilai P_1, luas penampang bernilai A_1 dan kecepatan aliran pada *streamline* bernilai V_1. Ketika aliran pada titik tersebut telah mencapai posisi 2 dengan ukuran penampang yang diperkecil maka akan terlihat terjadinya perubahan bentuk energi. Sehingga, tekanan pada P_2 akan mengalami penurunan dan nilai kecepatan V_2 akan mengalami kenaikan. Meskipun terjadi perubahan pada kecepatan dan tekanan, namun jumlah energi total yang terkandung pada posisi 1 dan posisi 2 akan bernilai sama.

Secara umum, bentuk dari persamaan Bernoulli ditulis

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{.....(2-12)}$$

keterangan :

Z = *head* statis fluida (elevasi) (m)

$\frac{v^2}{2g}$ = *head* kecepatan fluida (m)

$\frac{P}{\rho g}$ = *head* tekanan fluida (m)

2.4.3 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds merupakan angka tak berdimensi yang didapatkan dari perbandingan nilai gaya inersia yang dibandingkan dengan gaya viskos suatu aliran (Cengel dan Cimbala, 2006). Perbandingan dari gaya inersia dan gaya viskos akan menentukan bentuk *regime* dari suatu aliran apakah laminar, turbulen atau pun transisi. Nilai dari

perbandingan tersebut itu sendiri juga dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu geometri, kecepatan suatu aliran, kekasaran dari permukaan, temperatur permukaan dan yang tidak kalah penting adalah jenis dari fluida yang mengalir.

Persamaan bilangan Reynolds dapat ditulis

$$Re = \frac{gaya\ inersia}{gaya\ viskos} = \frac{V_{avg}D}{\nu} = \frac{\rho V_{avg}D}{\mu} \quad \text{..... (2-13)}$$

keterangan :

V_{avg} = kecepatan aliran fluida rata-rata (m/s)

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$ = viskositas kinematik (m^2/s)

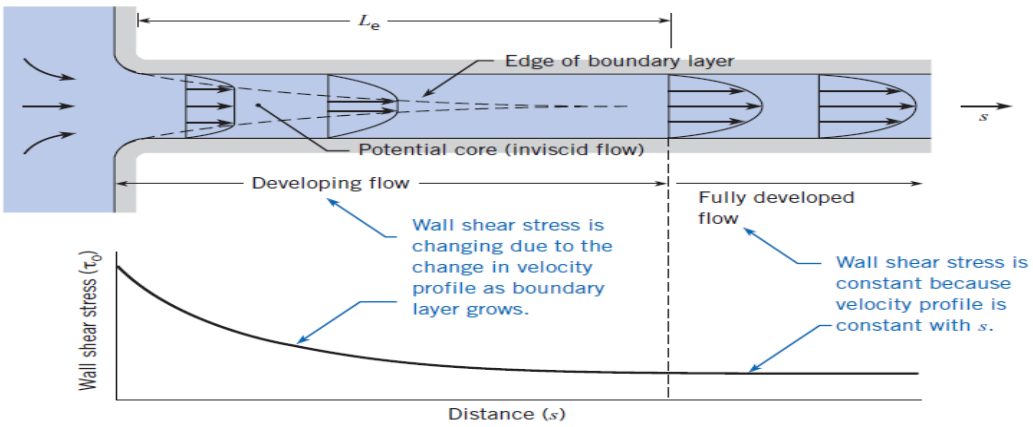
μ = viskositas absolut (kg/m.s)

ρ = densitas (kg/m^3)

D = karakteristik panjang geometri (m)

2.4.4 *The Entrance Region*

Pengamatan perlu dilakukan pada *entrance region* (daerah masuk) dari fluida. Hal ini dilakukan karena fluida akan mengalami perubahan kecepatan ketika memasuki saluran. Sebelum fluida memasuki saluran, kecepatan dari fluida akan terlihat seragam, namun ketika fluida memasuki saluran, lapisan fluida yang terdapat pada sisi terluar akan bersentuhan dengan permukaan dari saluran dan mengakibatkan terhambatnya fluida yang berada pada daerah terluar karena pengaruh gaya gesek sehingga kecepatan fluida pada dinding saluran sama dengan kecepatan dinding saluran (*no slip)*. Dengan adanya viskositas dari fluida, akibat gesekan tersebut kecepatan lapisan–lapisan fluida lainnya juga ikut terhambat sehingga kecepatannya pun ikut menurun secara bertahap (Cengel dan Cimbala, 2006).



Gambar 2.9 Kondisi aliran ketika masuk pipa
Sumber: Crowe et al. (2009,p.318)

Sebagaimana yang terlihat pada gambar 2.9, *boundary layer* atau lapisan batas terus mengalami penebalan mengikuti arah dari aliran fluida. Penebalan ini terus terjadi sepanjang wilayah dari sisi *inlet* saluran hingga pada bagian dimana *boundary layer* menyatu dengan garis tengah. Nilai dari panjang daerah tersebut dinyatakan dengan nilai dari *entrance length* (L_e). Sedangkan aliran masuk yang terus mengalami perubahan penebalan pada *entrance region* disebut *developing flow*. Ketika aliran fluida tidak lagi mengalami perubahan penebalan, maka aliran tersebut telah sempurna dan aliran ini disebut *fully developed flow*. Profil garis kecepatan *fully developed flow* pada aliran laminar akan berbentuk seperti parabola ketika dihubungkan satu sama lain (Crowe et al, 2009). Sedangkan untuk aliran turbulen, profil garis kecepatannya akan berbentuk lebih datar. Ketika aliran telah menjadi *fully developed*, maka daerah dari aliran tersebut akan berubah dari yang sebelumnya *entrance region* menjadi daerah baru yang disebut *fully developed region* (Cengel dan Cimbala, 2006).

Dapat disimpulkan bahwa *entry length* adalah panjang saluran fluida yang diperlukan agar tercapainya profil fluida yang memiliki kondisi *fully developed*. Dalam perhitungan, *entry length* merupakan fungsi dari *Reynolds number* dari aliran. Pada aliran dengan jenis laminar, nilai dari *entry length* adalah

$$L_{e,laminar} = 0.05 \text{ Re D} \quad \text{(2-14)}$$

Dan untuk aliran dengan jenis turbulen, panjangnya adalah

$$L_{e,turbulen} = 1.359 \text{ D (Re)}^{1/4} \quad \text{(2-15)}$$

Dimana Re adalah *Reynolds number* dan D merupakan diameter dari saluran. Jika dilihat dari persamaan diatas, dapat disimpulkan bahwa panjang masuk untuk aliran dengan jenis turbulen lebih pendek jika dibandingkan dengan panjang saluran dari aliran laminar untuk mencapai kondisi *fully developed* pada diameter dan *Reynolds number* yang sama. Pada penerapannya, *fully developed flow* diperkirakan akan terjadi setelah fluida melewati *entry length* dengan nilai panjang yang melebihi sepuluh kali dari nilai diameter pipa.

$$L_{e,turbulen} = 10 \text{ D} \quad \text{(2-16)}$$

Beberapa penulis juga memberikan rekomendasi yang berbeda-beda, seperti Nikuradse yang memberikan rekomendasi panjang *entry length* sepanjang 40 kali diameter dari saluran dan berbeda lagi, Lien et al. (2004) memberikan saran untuk menggunakan ukuran 150 kali diameter saluran dalam menentukan *entry length* pada aliran fluida dengan *Reynolds number* yang tinggi pada aliran dengan jenis turbulen.

2.5 Fluida Dasar

Fluida dasar merupakan fluida utama yang digunakan sebagai alat penukar panas pada suatu *heat exchanger*. Fluida dasar terdiri dari beberapa jenis fluida cair, namun dalam penanganan perpindahan panas di daerah dengan suhu dingin yang cukup rendah biasanya hanya fluida dasar berupa air dan *ethylene glycol* yang sering dimanfaatkan.

1. Air

Air merupakan fluida dasar yang paling umum digunakan sebagai fluida pemindah panas, rumus kimia dari air adalah H_2O. Air memiliki *properties* berupa densitas sebesar 0,99982 g/cm^3 pada temperatur 20 ^oC untuk tekanan 1 atm. Sedangkan viskositasnya bernilai 1,015 mPa.s pada temperatur 20 ^oC. Titik beku air sendiri adalah pada suhu 0 ^oC untuk tekanan 1 atm dan titik didihnya adalah sebesar 100 ^oC pada tekanan 1 atm (Bohne et al, 2015). Sedangkan nilai konduktivitas termal dari air adalah sebesar 0,613 W/m.K

2. *Ethylene Glycol*

Ethylene glycol memiliki berat yang lebih besar jika dibandingkan dengan air. Nilai viskositas nya pada suhu 25 ^oC tekanan 1 atm adalah sebesar 16,63 mPa.s. Sedangkan nilai dari densitasnya adalah sebesar 1,11264 g/cm^3 pada temperatur 19,6 ^oC. Selain itu titik didih dan titik beku dari *ethylene glycol* juga lebih tinggi daripada air. Titik didih *ethylene glycol* berada pada temperatur 197,1 ^oC pada tekanan 1 atm dan membeku pada temperatur -13 ^oC pada tekanan 1 atm (Bohne et al, 2015). Hal ini dapat memberikan solusi bagi penggunaan mesin penukar panas untuk daerah yang ekstrem, sehingga mampu mencegah terjadinya pembekuan pada fluida kerja (Haq et al, 2016). Namun dalam segi konduktivitas termal, *ethylene glycol* memiliki nilai konduktivitas termal yang lebih rendah jika dibandingkan dengan konduktivitas termal air biasa yaitu 0,613 W/m.K sedangkan *ethylene glycol* hanya memiliki nilai konduktivitas termal sebesar 0,253 W/m.K

3. Campuran *Ethylene Glycol*-Air

Untuk memenuhi kekurangan yang dimiliki oleh masing-masing fluida dasar, maka penggabungan antara fluida dasar air dan *ethylene glycol* pun dilakukan. Penelitian mengenai pencampuran *ethylene glycol* dan air terhadap peningkatan konduktivitas termal juga cukup banyak dilakukan, seperti yang dilakukan oleh Bohne et al. (2015), Namburu et al. (2007) dan Haq et al. (2016). Menurut Namburu et al. (2007) pencampuran *ethylene glycol* dengan air dengan perbandingan volume 60:40 adalah pencampuran yang paling sering digunakan pada daerah sub-artik dan artik seperti pada wilayah Alaska. Campuran *ethylene glycol* dan air juga sering digunakan sebagai fluida pendingin dalam sistem

pendingin *chiller*. Pencampuran ini akan memberikan *properties* fluida kerja yang khusus pula seperti nilai viskositas sebesar 8 cP (*centi poise*) pada temperatur 20 ^{o}C.

2.6 Mikropartikel

Mikropartikel merupakan material dengan ukuran nanometer atau sama dengan satu per satu miliar meter. Pada penelitian ini, mikropartikel yang digunakan adalah mikropartikel CuO (Tembaga Oksida). Mikropartikel yang digunakan pada penelitian diperoleh dari pembelian secara impor dari negara Amerika Serikat dengan karakteristik yang telah memenuhi standar mikropartikel.

Mikropartikel CuO atau biasa disebut juga *copper (II) oxide* merupakan serbuk berwarna hitam dengan massa molekul 79,545 g/mol dan densitas 6,315 g/cm^3. Mikropartikel CuO telah banyak digunakan dalam penelitian aplikasi fluida dengan partikel tersuspensi salah satunya dilakukan oleh Wael et al. (2016) dan Aliabadi (2015).

2.7 Fluida dengan partikel tersuspensi

Fluida dengan partikel tersuspensi merupakan fluida yang diperoleh melalui proses pencampuran mikropartikel dengan fluida cair sebagai cairan dasarnya. Dalam perkembangan dunia industri saat ini, penggunaan teknologi mengenai fluida dengan partikel tersuspensi terus mengalami pertumbuhan. Ini membuat penelitian mengenai fluida dengan partikel tersuspensi pun gencar dilakukan dan sudah menghasilkan artikel ilmiah yang cukup banyak hingga saat ini. Berdasarkan sumber dari Scopus, jumlah publikasi penelitian mengenai fluida dengan partikel tersuspensi pada tahun 1993 hanya berjumlah satu buah, 17 tahun kemudian yaitu pada tahun 2010 jumlah publikasi penelitian mengenai naofluida meningkat hingga berjumlah 1.847 penelitian (Manca et al, 2010). Selengkapnya, tabulasi mengenai jumlah perkembangan publikasi penelitian mengenai fluida dengan partikel tersuspensi dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Pangkalan Data Jumlah Publikasi Pada Scopus

Year	Nanofluids	Nanofluids and heat transfer	Nanofluids and properties
1993	1	0	0
1995	1	1	0
1996	2	2	0
1997	2	1	1
1999	2	2	1
2000	4	3	3
2001	5	2	2
2002	5	2	2
2003	19	9	6
2004	35	23	8
2005	90	50	34
2006	124	62	32
2007	175	89	50
2008	225	107	91
2009	222	109	96
2010	95	54	25
Total	1007	516	351

Sumber: Manca et al. (2010)

Dalam perkembangannya, fluida dengan partikel tersuspensi mengalami popularitas yang cukup besar karena dampak penggunaannya yang cukup menguntungkan dan mudah diaplikasikan dalam dunia industri. Pada penerapannya, fluida dengan partikel tersuspensi berfungsi sebagai fluida kerja pada sistem pertukaran panas. Dengan penggunaan fluida dengan partikel tersuspensi, maka konduktivitas termal dari fluida tersebut akan meningkat jika dibandingkan dengan fluida yang sama tanpa adanya penambahan mikropartikel didalamnya.

Untuk melihat perbedaan nilai konduktivitas termal dari beberapa jenis logam yang sering digunakan sebagai bahan dasar mikropartikel dengan fluida cair yang sering digunakan sebagai fluida dasar pada alat penukar panas, ditampilkan Tabel 2.2 sebagai sumber data yang jelas.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Tabel 2.2 Konduktivitas Termal Logam dan Fluida Pemanas

Golongan Bahan	Bahan	Konduktivitas Termal (W/mK)
Padatan Logam	Cu (Tembaga)	401
	Al (Aluminium)	237
	Zn (Seng)	116
	Ti (Titanium)	21,9
Padatan Non Logam	Si (Silikon)	148
	Al_2O_3 (Alumina)	40
Cairan Logam	Na (Natrium) 644 K	72,3
Cairan Non Logam	Air	0,613
	Ethylene Glikol, 40°C	0,253
	TriEthylene Glikol, 40°C	0,251
	TetraEthylene Glikol, 40°C	0,207
	Engine Oil	0,145

Sumber: Zhang et al. (2007)

Berikut merupakan penjelasan dari beberapa fluida dengan partikel tersuspensi yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Fluida dengan partikel tersuspensi CuO–Air

Fluida dengan partikel tersuspensi CuO-Air merupakan fluida dengan partikel tersuspensi campuran mikropartikel CuO dengan air (H_2O) sebagai fluida dasar. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Meybodi (2015), pada temperatur 283 K dan fraksi volume 0,15 %, fluida dengan partikel tersuspensi ini memiliki viskositas sebesar 0,431 mPa.S.

2. Fluida dengan partikel tersuspensi CuO–*Ethylene Glycol*

Fluida dengan partikel tersuspensi CuO–*Ethylene Glycol* merupakan fluida dengan partikel tersuspensi campuran mikropartikel CuO dengan *ethylene glycol* sebagai fluida dasar. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Garg et al. (2008), penambahan mikropartikel CuO pada *ethylene glycol* akan menyebabkan viskositas fluida kerja akan meningkat lebih tinggi dibandingkan dengan peningkatan yang terjadi pada konduktivitas termalnya.

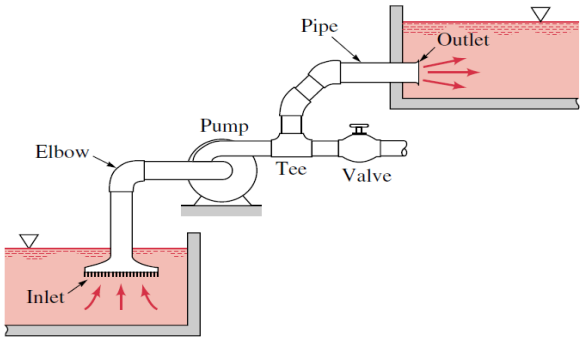
3. Fluida dengan partikel tersuspensi CuO–Campuran *Ethylene Glycol* dan Air

Fluida dengan partikel tersuspensi CuO–Campuran Air dan *Ethylene Glycol* dengan perbandingan volume 40:60 memiliki keunggulan yang paling baik jika dibandingkan dengan fluida dasar air saja ataupun *ethylene glycol* saja karena memiliki konduktivitas

termal yang paling tinggi dan titik beku yang mumpuni untuk diterapkan di daerah ekstrem. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Namburu (2007), pada temperatur 40ºC dan fraksi volume 6,142 %, fluida dengan partikel tersuspensi ini memiliki viskositas sebesar 10 cP (*centi poise*).

2.8 Pompa

Pompa merupakan salah satu mesin-mesin fluida yang berfungsi sebagai alat untuk mengalirkan fluida cair dari daerah rendah menuju daerah yang lebih tinggi. Jika tidak ada pompa di suatu sistem yang bersirkulasi, maka fluida cair tidak akan mungkin untuk melakukan proses sirkulasi secara terus menerus karena adanya keterbatasan energi dari fluida itu sendiri dan akan menyebabkan fluida kembali. Pompa sering digunakan sebagai pemindah fluida cair dari elevasi yang rendah ke daerah dengan elevasi yang lebih tinggi dan juga sebagai alat pemindah fluida dari satu tempat ke tempat lain. Dalam pengaliran fluida, pompa membutuhkan pipa sebagai saluran pengalir fluida (Bachus dan Custodio, 2003).



Gambar 2.10 Contoh penerapan pompa
Sumber: Moran et al. (2003,p.439)

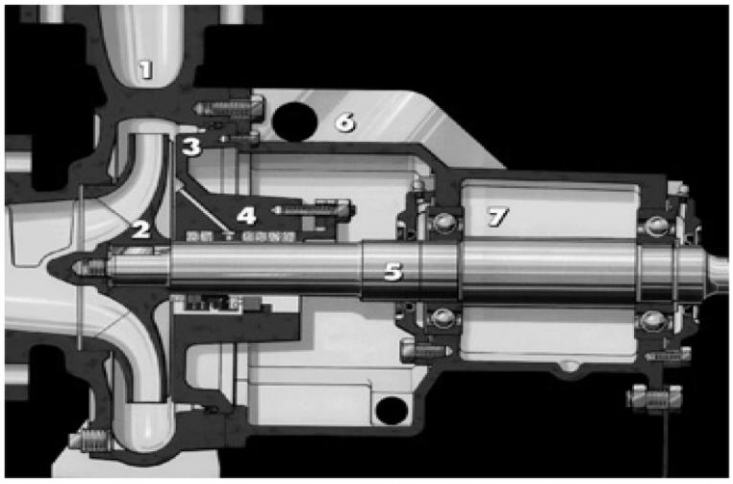
Pompa adalah salah satu mesin konversi energi dengan prinsip kerja mengkonversi bentuk dari energi mekanik yaitu putaran poros, menjadi energi kinetik, energi tekan dan energi potensial atau elevasi sehingga fluida yang awalnya diam dapat dialirkan. Fluida akan dialirkan dari sisi isap pompa sebagai tempat fluida masuk lalu dialirkan menuju sisi tekan sebagai tempat keluar pompa. Pompa memiliki batas nilai *head* maksimum dalam mengalirkan fluida. Apabila fluida yang akan dialirkan berada pada elevasi diluar batas kemampuan pompa, maka pompa tidak akan mampu menghisap fluida cair tersebut (Bachus

dan Custodio, 2003). Spesifikasi dari pompa dapat dinyatakan dengan jumlah dari fluida yang dialirkan per satuan waktu (kapasitas) dan dan *head* (besarnya energi angkat).

2.8.1 Pompa Sentrifugal

Pompa terdiri dari berbagai macam jenis berdasarkan cara kerja, arah aliran, jenis gerakan, dan lain sebagainya. Dari beberapa jenis pompa, pompa dengan jenis sentrifugal merupakan pompa yang paling sering digunakan. Pompa sentrifugal merupakan pompa yang memanfaatkan gaya sentrifugal untuk memberikan tekanan pada fluida yang dialirkan. Sebagai contoh, pada *petroleum plant* hampir 80-90 % pompa yang digunakan adalah pompa dengan jenis sentrifugal (Girdhar dan Monez, 2005). Hal ini terjadi karena pompa sentrifugal memiliki daerah operasi yang cukup luas, yaitu mulai dari kapasitas rendah hingga kapasitas tinggi dan juga dari tekanan operasi rendah hingga tekanan operasi tinggi. Dengan bentuk yang sederhana dan harga yang cukup murah membuat penggunaan pompa sentrifugal sering digunakan (Bramantya et al, 2007).

Konstruksi pompa sentrifugal secara umum terdiri dari rumah siput atau *volute* (1) dan *impeller* (2) sebagaimana yang tampak pada gambar 2.3. *Impeller* dipasang di sebuah poros (5), yang mana agar tetap stabil poros itu ditopang oleh *bearing* (7) yang terpasang pada suatu rumah *bearing* (6). Untuk menghubungkan gaya, sebuah kopling penggerak dipasang pada ujung dari poros pada rumah *bearing*. Lalu, untuk mencegah kebocoran, dipasang *sealing* (4) pada *casing* sehingga fluida dapat dialirkan menuju sisi tekan secara sempurna. *Sealing* sendiri terpasang pada *seal housing* sebagai tempat dudukannya (Girdhar dan Monez, 2005).



Gambar 2.11 Konstruksi dasar pompa sentrifugal
Sumber: Girdhar dan Monez (2005,p.11)

Untuk menggerakkan poros, dapat digunakan sumber penggerak berupa motor listrik, motor bakar dan turbin uap yang akan mengirimkan torsi melalui kopling. Beriringan dengan putaran dari *impeller*, fluida cair akan terhisap dan mengisi ruangan di ruas-ruas *impeller* apabila pompa berfungsi secara baik. Secara umum, pompa mengubah bentuk energi mekanik yang terdapat pada putaran poros yang akan memutar *impeller* yang teridiri dari beberapa sudu, kemudian *impeller* tersebut akan memberikan kecepatan kepada fluida secara mekanik. Fluida cair yang memiliki kecepatan tinggi dimampatkan pada *volute* untuk mengubah energi kinetik menjadi energi tekanan (Girdhar dan Monez, 2005).

2.8.2 Karakteristik Pompa Sentrifugal

1. *Head* (H)

Head memiliki pengertian berupa besarnya energi yang dimiliki fluida per satuan berat dari fluida tersebut. Dalam sistem satuan, *head* (H) memiliki satuan berupa meter atau feet fluida. Berdasarkan persamaan Bernoulli, dalam suatu sistem instalasi aliran, terdapat tiga jenis *head*, yaitu *head* kecepatan, *head* tekanan dan *head* potensial atau elevasi. Dalam menentukan *head* total dari suatu pompa, dapat dilakukan dengan melakukan penjumlahan selisih dari nilai masing-masing jenis *head* tersebut di sisi isap dan di sisi tekan ditambahkan dengan nilai *head losses* akibat dari instalasi saluran yang digunakan. Untuk lebih jelasnya dalam menentukan nilai *head* total pompa dapat digunakan persamaan berikut

$$H = (Z_d - Z_s) + \left(\frac{Pd - Ps}{\gamma}\right) + \left(\frac{V_d^2 - V_s^2}{2g}\right) - H_L \quad (2\text{-}17)$$

keterangan :

Zd	=	elevasi sisi tekan (m)
Zs	=	elevasi sisi isap (m)
Pd	=	tekanan sisi tekan (N/m^2)
Ps	=	tekanan sisi isap (N/m^2)
γ	=	berat jenis = $\rho_{water} \cdot g$ (N/m^3)
v_d	=	kecepatan sisi tekan (m/s)
v_s	=	kecepatan sisi isap (m/s)
g	=	percepatan gravitasi (m/s^2)
H_L	=	*head losses* (m)

2. Kapasitas (Q)

Kapasitas atau yang sering diketahui juga dengan istilah debit merupakan besarnya volume dari fluida yang dapat dialirkan per satuan waktu. Untuk mengukur kapasitas dari suatu aliran, dapat digunakan alat ukur berupa *flowmeter* yang dapat menunjukkan besarnya nilai kapasitas secara langsung. Selain itu kapasitas juga dapat digunakan dengan menggunakan *venturimeter*, tabung pitot, *orifice* yang dihubungkan dengan *manometer*. Dalam menentukan besarnya kapasitas (Q) suatu aliran, digunakan satuan m^3/s, ft^3/s atau liter/s. Untuk menentukan nilai kapasitas dapat menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{.....(2-18)}$$

keterangan :

V = volume (m^3)

t = waktu (sekon)

3. Putaran (n)

Putaran yang dimiliki oleh pompa dapat diperoleh dari putaran motor bakar, motor listrik maupun turbin uap sebagai penggerak utama. Untuk mengukur nilai putaran pada poros, digunakan alat ukur berupa *tachometer* yang akan menghasilkan nilai bacaan berupa jumlah *RPM* (*revolution per minute*) dari poros pompa.

4. Torsi (T)

Torsi merupakan energi yang menyebabkan sesuatu benda dapat berputar. Pada umumnya, besarnya nilai dari torsi didapatkan dengan cara mengukur gaya menggunakan neraca pegas atau pun *dynamometer*. Setelah nilai gaya diperoleh, barulah nanti gaya tersebut dikalikan dengan besarnya panjang lengan dari pengukur momen torsi tersebut sebagaimana yang terlihat pada persamaan berikut. Dalam satuan internasional, nilai torsi dinyatakan dalam Newton meter (Nm).

$$T = F \cdot L \quad \text{.....(2-19)}$$

keterangan :

F = gaya akibat putaran motor (N)

L = lengan (m)

5. Daya (W)

Pada pompa, daya dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu daya poros dan daya air. Daya poros adalah daya yang dimiliki oleh motor listrik yang disalurkan melalui poros ke *impeller* pompa. Sedangkan daya air adalah daya yang diperoleh oleh fluida dari kemampuan

pompa untuk mengalirkan fluida cair. Satuan dari daya sendiri adalah Watt. Untuk menghitung daya poros dan daya air dapat menggunakan formula berikut ini:

- Daya poros (W_1) :

  $W_1 = F \cdot \frac{n}{k}$ (Watt) ..... (2-20)

  Keterangan :

  K = konstanta pengereman

  n = putaran poros (rpm)

  F = gaya poros (N)

- Daya air (W_2) :

  $W_2 = (Pd - Ps) \cdot Q$ (Watt) ..... (2-21)

  keterangan :

  W_2 = daya air (Watt)

  P_d = tekanan sisi tekan (N/m^2)

  P_s = tekanan sisi isap (N/m^2)

6. Efisiensi (η)

Sebagaimana menurut pengertian efisiensi secara umum, efisiensi adalah besarnya perbandingan dari besarnya kerja yang dihasilkan dibandingkan dengan nilai input tenaga. Sedangkan pengertian dari efisiensi pompa sendiri adalah perbandingan dari daya yang diberikan pompa terhadap fluida (daya air) dibandingkan dengan besarnya daya yang diperoleh dari motor listrik (daya poros).

$\eta = \frac{W2}{W1} \; x \; 100\%$ ..... (2-22)

keterangan :

η = efisiensi (%)

W_2 = daya air (Watt)

W_1 = daya poros (Watt)

Efisiensi total dari pompa sentrifugal sebenarnya terdiri dari tiga jenis efisiensi, yaitu efisiensi hidrolik, efisiensi mekanik dan efisiensi volumetrik. Sehingga, untuk mendapatkan nilai efisiensi total juga dapat digunakan persamaan berikut.

$\eta_{Total} = \eta_{mekanik} \times \eta_{volumetrik} \times \eta_{hidrolik}$ ..... (2-23)

keterangan :

η_{total} = efisiensi (%)

$\eta_{mekanik}$ = efisiensi mekanik (%)

$\eta_{volumetrik}$ = efisiensi volumetrik (%)

$\eta_{hidrolik}$ = efisiensi hidrolik (%)

a. Efisiensi Hidrolik

Efisiensi hidrolik sebagaimana yang terlihat pada persamaan 2-24 merupakan nilai dari perbandingan antara *head* pompa aktual (ΔH) dibandingkan dengan nilai *head* teoritis pompa (ΔH_i). Sedangkan *head* aktual pompa sendiri adalah nilai *head* teoritis pompa dikurangi dengan nilai jumlah *hydrolic losses* ($\sum H_L$) dari pompa itu sendiri.

$$\eta_{HY} = \frac{\Delta H}{\Delta Hi}\ x\ 100\% = \frac{\Delta Hi - \sum HL}{\Delta Hi}\ x\ 100\% \quad (2\text{-}24)$$

keterangan :

η_{HY} = efisiensi hidrolik (%)

ΔH = *head* pompa aktual (m)

($\sum H_L$) = *hydrolic losses* (m)

(ΔH_i) = *head* teoritis pompa (m)

Nilai dari efisiensi hidrolik sangat dipengaruhi oleh *hydrolic losses* yang terjadi pada saat pompa beroperasi. *Hydrolic losses* sendiri terdiri dari seluruh kerugian gesek yang dialami fluida ketika mengalir di dalam pompa, seperti gesekan antara fluida dengan sisi masuk pompa, gesekan antara fluida dengan *impeller*, dan gesekan fluida dengan sisi keluar pompa. Dalam penelitian ini nilai *hydrolic losses* lah yang akan mempengaruhi karakteristik dari pompa karena setiap variasi yang diberikan akan menghasilkan fluida dengan partikel tersuspensi dengan properties yang berbeda. Sehingga dengan adanya *properties* seperti massa jenis dan viskositas yang berubah akan mempengaruhi besarnya kerugian gesek atau *friction losses* yang terjadi.

b. Efisiensi Mekanis

Efisiensi mekanis merupakan perbandingan antara daya poros (W_s) dikurangi dengan *mechanical losses* (W_{ml}) dibandingkan dengan daya poros sebagaimana yang terlihat pada persamaan 2-25. Semakin tinggi nilai efisiensi mekanis maka semakin efisien penyaluran daya yang terjadi dari komponen pemutar utama yaitu poros kepada fluida yang dipompakan

$$\eta_m = \frac{W_s - W_{ml}}{W_s}\ x\ 100\% \quad (2\text{-}25)$$

keterangan :

η_m = efisiensi mekanis (%)

w_s = daya poros (watt)

w_{ml} = mechanical losses (watt)

Nilai dari efisiensi mekanis tergantung dengan besarnya *mechanical losses* yang terjadi pada pompa. *Mechanical losses* terdiri dari kerugian gesek yang terjadi antara komponen mekanis yang berada pada dalam pompa seperti pada gesekan *bearing* dan poros pada pompa.

c. Efisiensi Volumetrik

Efisiensi volumetrik pada pompa sentrifugal merupakan perbandingan antara nilai kapasitas pompa (Q) dengan jumlah antara kapasitas pompa dan kapasitas fluida yang mengalami aliran balik (Q_L). Aliran balik itu adalah aliran yang harusnya melewati *impeller* namun terpental kembali ke sisi isap. Untuk lebih jelasnya, hal ini dapat dilihat pada persamaan 2-26.

$$\eta_v = \frac{Q}{Q + Q_L} \; x \; 100\% \quad \text{(2-26)}$$

keterangan :

η_v = efisiensi volumetrik (%)

Q = kapasitas pompa (m^3/s)

Q_L = kapasitas aliran balik (m^3/s)

2.9 Hipotesis

Dalam penelitian ini berdasarkan pertimbangan dasar teori, dapat diprediksi bahwa semakin banyaknya persentase mikropartikel CuO pada fluida dengan partikel tersuspensi, maka akan semakin kecil nilai *head* pompa, semakin kecil nilai kapasitas pompa, semakin besar nilai torsi, semakin besar nilai daya poros pompa dan menurunkan nilai efisiensi pompa. Selain itu penggunaan *ethylene glycol* sebagai fluida dasar juga akan menyebabkan hal yang sama jika dibandingkan dengan penggunaan air biasa sebagai fluida dasarnya. Hal tersebut dikarenakan densitas fluida dengan partikel tersuspensi yang lebih tinggi dibandingkan fluida dasar dan juga densitas dari *ethylene glycol* yang lebih besar daripada densitas air, sehingga pada akhirnya akan meningkatkan viskositas fluida kerja yang akan menurunkan nilai *head* pompa, menurunkan nilai kapasitas pompa, menaikkan nilai torsi, menaikkan nilai daya poros dan menurunkan efisiensi pompa.

BAB III
METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, digunakan metode penelitian berupa metode eksperimental nyata. Pengamatan akan dilakukan secara langsung pada rangkaian alat penelitian untuk mendapatkan data yang nantinya akan dapat dianalisa dan dibandingkan. Pada penelitian ini, akan diamati pengaruh penambahan mikropartikel CuO pada fluida dengan partikel tersuspensi campuran *ethylene glycol*-air sebagai fluida kerja terhadap karakteristik pompa sentrifugal dengan variasi persentase jumlah mikropartikel CuO.

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2017 sampai bulan Mei 2017 dan dilaksanakan di Laboratorium Mesin-Mesin Fluida,Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

3.2 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan terdiri dari beberapa variabel yaitu:

1. Variabel Bebas

   Variabel bebas merupakan variabel yang besar nilainya ditentukan oleh peneliti dan tidak bergantung dengan variabel lain. Di penelitian ini, yang menjadi variabel bebas adalah persentase massa mikropartikel CuO yang digunakan dengan variasi sebanyak 0,5%, 1%, 1,5% dan 2%. Selain itu variabel bebas lainnya adalah variasi kapasitas yang digunakan dengan variasi kapasitas 0,00006 m^3/s, 0,00005 m^3/s, 0,00004 m^3/s, 0,00003 m^3/s, 0,00002 m^3/s, dan 0,00001 m^3/s,.

2. Variabel Terikat

   Variabel terikat merupakan variabel yang besar nilainya tergantung dari nilai variabel bebas. Untuk mengetahui nilai dari variabel terikat, penelitian harus dilakukan hingga selesai. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah kapasitas, head, torsi, daya poros, daya air dan efisiensi pompa.

3. Variabel Terkendali

   Variabel terkendali merupakan variabel dengan nilai yang telah ditentukan sebelum penelitian dilaksanakan dan bersifat tetap. Pada penelitian ini yang menjadi variabel terkendalinya adalah putaran motor pompa sebesar 2900 rpm.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.3 Alat-alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1 berguna sebagai alat pemindah fluida dari bak penampung untuk disirkulasikan dalam rangkaian alat penelitian. Pompa sentrifugal ini juga akan menjadi objek yang akan dianalisa khususnya pada perubahan karakteristiknya yang terjadi pada saat beroperasi.

Gambar 3.1 Pompa sentrifugal

Spesifikasi :

- Merek : Interdab
- Model No : XHM/5B
- Head tekan maksimal : 22 m
- Head isap maksimal : 8 m
- Debit maksimal : 600 L/min
- Daya : 0.75 KW
- Putaran motor : 2900 RPM

2. Pipa *PVC* Diameter 1 in

Pipa *PVC* berdiameter 1 in berfungsi sebagai saluran tempat mengalirnya fluida kerja dari bak penampung dan juga sebagai tempat memasang alat ukur tekanan.

3. *Vacuum Gauge*

Vacuum gauge pada gambar 3.2 merupakan alat pengukur tekanan yang akan digunakan untuk mengukur tekanan pada sisi isap pompa. *Vacuum gauge* yang digunakan merupakan produk dari perusahaan Wiebrock, dengan spesifikasi diameter alat ukur 2,5 in dengan nilai skala ukur dari 0 hingga -76 cmHg dan dari 0 hingga -30 inHg. Nilai skala

pengukuran terkecil dari alat ukur ini adalah 0,5 untuk satuan inHg dan 1 untuk satuan cmHg .

Gambar 3.2 *Vacuum gauge*

4. Pressure Gauge

Pressure gauge pada gambar 3.3 digunakan sebagai alat pengukur tekanan pada sisi tekan atau keluaran pompa. *Pressure gauge* yang dipakai merupakan produk dari perusahaan Asahi dengan spesifikasi diameter alat ukur sebesar 5 in dan dengan nilai skala pengukuran dari 0 hingga 40 mAq. Alat ukur ini memiliki skala pengukuran terkecil sebesar 1 mAq.

Gambar 3.3 *Pressure gauge*

5. *Flowmeter*

Flowmeter sebagaimana yang terlihat pada gambar 3.4 digunakan sebagai alat pengukur debit fluida yang dialirkan oleh pompa. *Flowmeter* dengan merk Ningbo China dengan satuan pembacaan m^3 digunakan pada rangkaian penelitian. *Flowmeter* ini berjenis *impeller flowmeter.* Alat ini bekerja dengan cara menerima aliran fluida yang masuk dan aliran tersebut akan menubruk sehingga memutar *impeller* yang terdapat pada *flowmeter*. Lalu putaran *impeller* tersebut akan memutar jarum skala yang akan memberikan hasil pembacaan volume aliran. Dalam *flowmeter* ini terdapat lima skala pengukuran yang berbeda yaitu mulai dari 0,0001 m^3, 0,001 m^3, 0,01 m^3, 0,1 m^3 dan 1 m^3. Alat ini juga mampu menerima tekanan maksimum sebesar 1,6 Mpa dan temperatur maksimum sebesar 40 ^oC serta *permanent flow-rate* sebesar 1,5 m^3/h.

Gambar 3.4 *Flowmeter*

6. Bak penampung

Bak penampung merupakan tempat yang berguna sebagai wadah dari fluida kerja yang disirkulasikan. Bak penampung yang dapat dilihat pada gambar 3.5 memiliki volume maksimum sbesar 40 liter.

Gambar 3.5 Bak penampung

7. *Gate Valve*

Pada penelitian ini, katup *gate valve* sebagaimana yang terlihat pada gambar 3.6 digunakan sebagai pengatur debit aliran fluida yang disirkulasikan oleh pompa. Karena kemampuan dari *gate valve* yang dapat digunakan untuk mengatur kapasitas aliran dalam nilai yang berubah-ubah.

Gambar 3.6 *Gate valve*

8. Neraca Gantung Digital

Neraca gantung digital merupakan alat ukur yang berguna untuk mengukur nilai gaya pembebanan pada poros pompa. Alat ukur ini dihubungkan menuju pulley yang seporos dengan motor listrik penggerak pompa menggunakan tali. Neraca pegas yang digunakan memiliki nilai ketelitian 0,001 kg. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.7.

Gambar 3.7 Neraca pegas

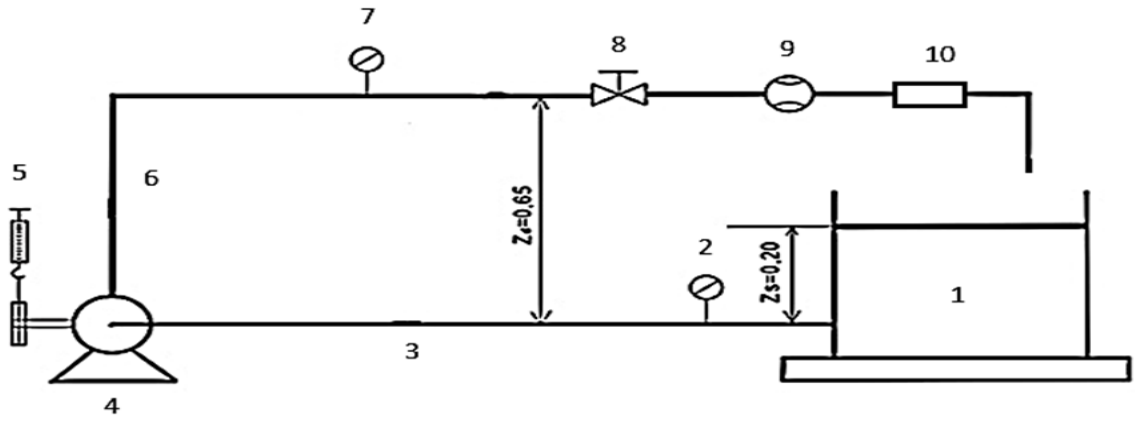
9. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan sebagai alat pengukur massa mikropartikel CuO yang akan ditambahkan ke dalam fluida. Pada penelitian ini, timbangan yang digunakan berjenis timbangan digital sebagaimana yang terlihat pada gambar 3.8. Alat ukur ini memiliki skala pengukuran terkecil sebesar 0,001 kg dengan interval pengukuran dari 0 kg hingga 10 kg.

Gambar 3.8 Timbangan digital

3.4 Skema instalasi penelitian

Alat penelitian yang digunakan disusun seperti yang tertera pada gambar 3.9 di bawah ini:



Gambar 3.9 Skema instalasi penelitian

Keterangan :

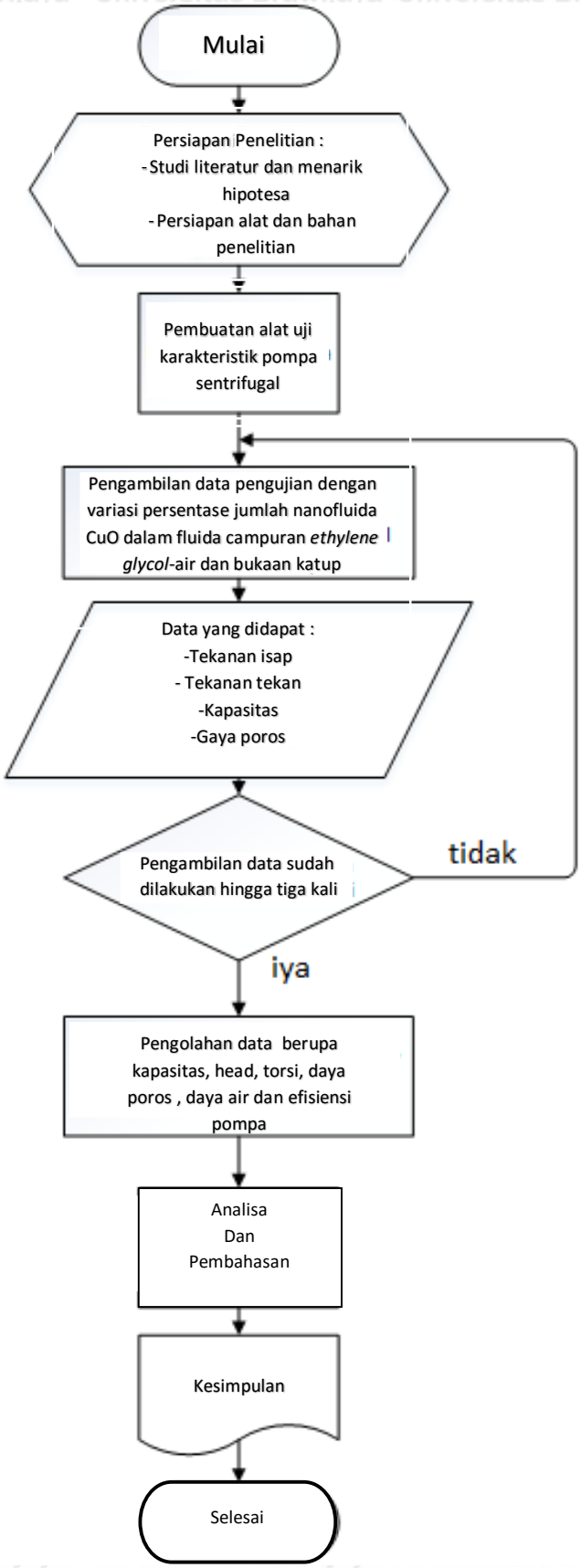
1 = Bak penampung	6 = Pipa sisi tekan
2 = *Pressure gauge* sisi isap	7 = *Pressure gauge* sisi tekan
3 = Pipa sisi isap	8 = *Gate valve*
4 = Pompa sentrifugal	9 = *Flowmeter*
5 = Neraca pegas	10 = Pipa transparan

3.5 Prosedur Pengambilan Data Penelitian

Dari gambar 3.9 dapat dilihat skema instalasi dari penelitian, pada gambar dapat diketahui bahwa fluida kerja yang digunakan tersimpan pada bak penampung (1). Fluida kerja tersebut akan dialirkan melewati sistem oleh pompa (4) dari bak penampung (1) yang akan dihisap pada sisi isap (3) lalu dialirkan melewati sisi tekan (6) hingga melewati seluruh alat ukur, pipa transparan (10) dan kembali lagi pada bak penampung (1) dengan debit aliran yang direncanakan yang akan diatur menggunakan *gate valve* (8) dan nilainya akan terbaca pada *flowmeter* (9). Pengambilan data dilakukan mengikuti prosedur yaitu pada awalnya, setiap alat ukur yang digunakan yaitu *pressure gauge, vacuum gauge, flowmeter* dan neraca pegas sudah terkalibrasi. Lalu masukkan fluida dengan partikel tersuspensi dengan jumlah yang telah ditentukan kedalam bak penampung, untuk pengambilan data pertama air sebanyak 8 liter (7,99856 kg) dan ethylene glycol sebanyak 12 liter (13,35168 kg) yang telah dicampurkan dengan CuO sebanyak 0,5% (0,1067512 kg). Setelah itu buka katup dengan bukaan yang telah direncanakan. Selanjutnya, nyalakan pompa dan arahkan sensor dari

tachometer digital pada poros untuk mendapatkan nilai putaran poros. Setelah itu, catat semua nilai yang terbaca pada alat ukur yaitu nilai tekanan pada sisi hisap dapat dilihat pada nilai yang ditunjukkan pada *pressure gauge* sisi isap (2), tekanan pada sisi tekan dapat dilihat pada *pressure gauge* sisi tekan (7), debit aliran yang terlihat pada *flowmeter* (9), dan gaya poros yang dapat dilihat pada nilai yang ditunjukkan pada neraca pegas (5). Setelah semua data diperoleh, matikan pompa lalu ubah variasi bukaan katup menuju variasi berikutnya. Lalu, ulangi langkah yang sama hingga pengubahan bukaan katup telah dilaksanakan seluruhnya. Setelah itu ubah variasi persentase mikropartikel dengan menambahkan jumlah mikropartikel ke dalam fluida kerja sesuai dengan jumlah yang telah ditentukan. Setelah itu lakukan pengambilan data dengan variasi bukaan katup seperti yang telah dilakukan sebelumnya. Lakukan hingga seluruh variasi persentase mikropartikel CuO didapatkan datanya.

3.6 Diagram Alir Penelitian



repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
Universitas Brawijaya

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Dalam penelitian ini diambil data berupa data tekanan sisi isap, tekanan sisi tekan, gaya poros dan kapasitas. Data tersebut dicatat dan ditampilkan dalam tabel 4.1 sebagaimana yang dapat dilihat dibawah ini

Tabel 4.1 Data Penelitian

KAPASITAS (x 10^{-5} m^3/s)	Air			Air-*Ethlene Glycol*			Air-*Ethlene Glycol* CuO 0,5%		
	f (kg)	P_d (maq)	P_s (cmHg)	f (kg))	P_d (maq)	P_s (cmHg)	f (kg)	P_d (maq)	P_s (cmHg)
1	0,246	12,5	-1,625	0,35	11,9	-0,5	0,35	11,8	-1,125
2	0,247	12,1	-2,375	0,365	11,6	-0,875	0,365	11,3	-1,625
3	0,25	11,7	-2,875	0,37	11,1	-1,625	0,37	11	-2
4	0,251	11,2	-4,125	0,37	10,5	-3	0,375	10,2	-3,125
5	0,255	10,6	-5,375	0,37	10,1	-3,375	0,375	9,9	-3,875
6	0,26	10,1	-6,625	0,385	9,5	-4,625	0,39	9,2	-5,5
KAPASITAS (x 10^{-5} m^3/s)	**Air-*Ethlene Glycol* CuO 1%**			**Air-*Ethlene Glycol* CuO 1,5%**			**Air-*Ethlene Glycol* CuO 2%**		
	f (kg)	P_d (maq)	P_s (cmHg)	f (kg)	P_d (maq)	P_s (cmHg)	f (kg)	P_d (maq)	P_s (cmHg)
1	0,365	10,2	-0,375	0,365	10,1	-0,25	0,37	9,9	-0,125
2	0,365	9,8	-0,625	0,365	9,8	-0,625	0,375	9,3	-0,25
3	0,37	9,2	-1,25	0,385	9,2	-1	0,39	8,9	-0,875
4	0,375	8,8	-2,5	0,385	8,8	-2,125	0,39	8,2	-1,875
5	0,39	8,2	-3,25	0,4	8,1	-3,125	0,4	7,8	-2,625
6	0,395	7,9	-4,25	0,4	7,8	-4,25	0,415	7,2	-3,875

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Sebagaimana yang dapat dilihat pada tabel 4.1, dapat dilihat bahwa nilai pembacaan alat ukur masih belum memiliki satuan yang berstandar SI. Oleh karena itu nilai tersebut dikonversi menjadi satuan internasional dan hasil konversi tersebut ditampilkan pada tabel 4.2. Proses penghitungan konversi satuan yang digunakan dapat dilihat dalam contoh perhitungan berikut dengan sampel perhitungan fluida air pada kapasitas 4 x 10^{-5} m^3/s

1. P_d = 11,2 mAq

   1 mAq = 9.806,38 N/m^2

   maka

   P_d = 11,2 x 9.806,38 N/m^2

   = 10.2967 N/m^2

2. P_s = -4,125 cmHg (tanda negatif menunjukkan tekanan berada dibawah 1 atm)

   1 cmHg = 1.333,224 N/m^2

   maka

   P_s = -4,125 x 1.333,224 N/m^2

   = -5.499,55 N/m^2 (tanda negatif menunjukkan tekanan berada dibawah 1 atm)

Tabel 4.2 Data Penelitian Hasil Konversi

KAPASITAS (x 10^{-5} m^3/s)	Air		Air-*Ethlene Glycol*		Air-*Ethlene Glycol* CuO 0,5%	
	P_d (N/m^2)	P_s (N/m^2)	P_d (N/m^2)	P_s (N/m^2)	P_d (N/m^2)	P_s (N/m^2)
1	122579,75	-2166,489	116695,9	-666,612	115715,3	-1499,88
2	118657,198	-3166,407	113754	-1166,57	110812,1	-2166,49
3	114734,646	-3833,019	108850,8	-2166,49	107870,2	-2666,45
4	109831,456	-5499,549	102967	-3999,67	100025,1	-4166,33
5	103947,628	-7166,079	99044,44	-4499,63	97083,16	-5166,24
6	99044,438	-8832,609	93160,61	-6166,16	90218,7	-7332,73

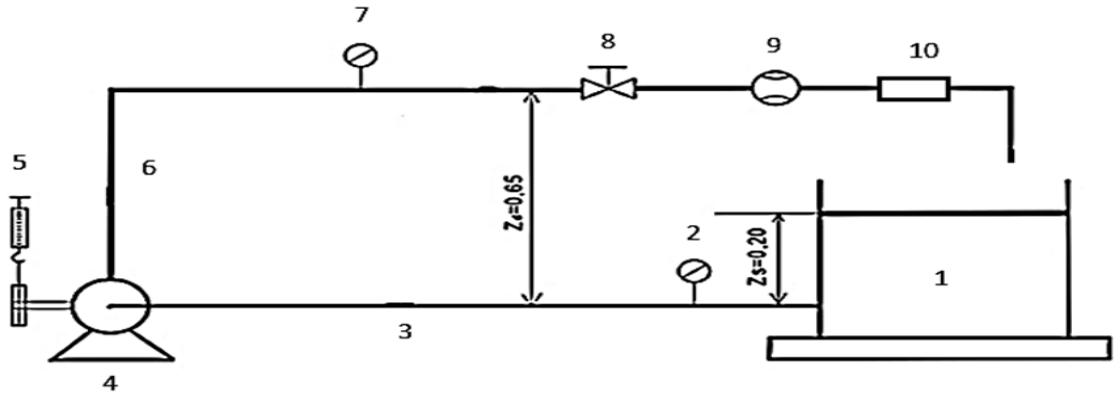
KAPASITAS (x 10^{-5} m^3)	Air-*Ethlene Glycol* CuO 1%		Air-*Ethlene Glycol* CuO 1,5%		Air-*Ethlene Glycol* CuO 2%	
	P_d (N/m^2)	P_s (N/m^2)	P_d (N/m^2)	P_s (N/m^2)	P_d (N/m^2)	P_s (N/m^2)
1	100025,1	-499,959	99044,44	-333,306	97083,16	-166,653
2	96102,52	-833,265	96102,52	-833,265	91199,33	-333,306
3	90218,7	-1666,53	90218,7	-1333,22	87276,78	-1166,57
4	86296,14	-3333,06	86296,14	-2833,1	80412,32	-2499,8
5	80412,32	-4332,98	79431,68	-4166,33	76489,76	-3499,71
6	77470,4	-5666,2	76489,76	-5666,2	70605,94	-5166,24

4.2 Contoh Perhitungan

Setelah diperoleh data hasil konversi, maka tahapan selanjutnya adalah melakukan perhitungan. Perhitungan yang digunakan bertujuan untuk memperoleh nilai dari karakteristik pompa sentrifugal yaitu berupa nilai head, torsi, daya poros, daya air dan efisiensi. Setelah dihitung, hasil perhitungan juga ditampilkan dalam bentuk tabel seperti yang dapat dilihat pada tabel 4.3. Agar lebih mudah memahami perhitungan yang digunakan, berikut ditampilkan contoh perhitungan yang digunakan dengan sampel perhitungan fluida air pada kapasitas $4x10^{-5}$ m^3/s

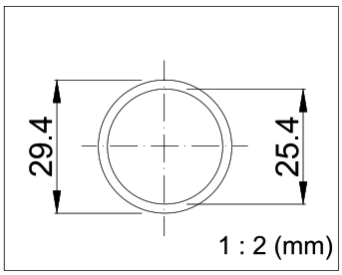
1. Contoh Perhitungan Head

   Contoh Perhitungan dilakukan pada fluida kerja air pada kapasitas 0,00004 m^3/s. Sebelum melakukan perhitungan diperlukan nilai Z_d dan nilai Z_s yang diperoleh dari perbedaan ketinggian fluida pada sisi tekan dan sisi isap sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Skema instalasi penelitian

Selain itu nilai v_d dan v_s juga diperlukan, sehingga untuk mengetahuinya perlu dilakukan perhitungan aliran yang terjadi pada saluran sisi isap dan sisi tekan. Berikut dapat dilihat gambar 4.2 yang menunjukkan saluran pada sisi isap dan sisi tekan



Gambar 4.2 Pipa saluran

Dalam melakukan perhitungan kecepatan aliran dilakukan perhitungan menggunakan persamaan berikut:

$v_d = Q / A_d = Q / \pi r^2$

Keterangan:

v_d = kecepatan aliran sisi tekan (m/s)

Q = kapasitas (m^3/s)

A_d = luas penampang pipa (m^2)

r = jari-jari dalam pipa (m)

Setelah persamaan diketahui, dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$v_d = Q / A_d = Q / \pi r^2$

$= 4 \times 10^{-5}$ (m^3/s) / [(3,14 . $0{,}0127^2$ (m^2)]

= 0,0197 m/s

Karena luas penampang sisi isap dan sisi tekan sama, maka nilai $v_s = v_d$

Untuk melakukan perhitungan juga diperlukan nilai berat jenis air yang diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

$\gamma = \rho . g$

Keterangan :

γ = berat jenis (N/m^3)

ρ = massa jenis (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Setelah persamaan diketahui, dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$\gamma = \rho . g$

= 998 kg/m^3 . 9,81 m/s^2

= 9790,38 N/m^3

Setelah didapatkan semua nilai yang disebutkan diatas, barulah perhitungan head dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut:

$H = (Z_d - Z_s) + \left(\frac{Pd - Ps}{\gamma}\right) + \left(\frac{V_d^2 - V_s^2}{2g}\right)$

Keterangan :

Z_d = elevasi sisi tekan (m)

Z_s = elevasi sisi isap (m)

P_d = tekanan sisi tekan (N/m^2)

P_s = tekanan sisi isap (N/m^2)

γ = berat jenis = $\rho . g$ (N/m^3)

v_d = kecepatan sisi tekan (m/s)

v_s = kecepatan sisi isap (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Setelah persamaan diketahui, dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$H = (Z_d - Z_s) + \left(\frac{Pd - Ps}{\gamma}\right) + \left(\frac{V_d^2 - V_s^2}{2g}\right)$$

$$H = (0{,}65 - 0{,}2) + \left(\frac{109831.456 - (-5499.549)}{9790{,}38}\right) + \left(\frac{0{,}0197^2 - 0{,}0197^2}{2.9{,}81}\right)$$

$$H = (0{,}45) + (11{,}78) + 0$$

$$H = 12{,}23 \quad m$$

2. Contoh Perhitungan Torsi

Contoh Perhitungan dilakukan pada fluida kerja air pada kapasitas 0,00004 m^3/s. Sebelum melakukan perhitungan torsi diperlukan nilai gaya akibat putaran motor (F) yang diperoleh dengan perhitungan

F = f x g

Keterangan :

f = gaya yang terbaca pada neraca pegas (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Setelah persamaan diketahui, dilakukan perhitungan sebagai berikut:

F = f x g

= 0,2507 kg x 9,81 m/s^2

= 2,4598 N

Lalu dilakukan perhitungan torsi

T = F . L

keterangan :

F = gaya akibat putaran motor (N)

L = lengan (m)

Setelah persamaan diketahui, dilakukan perhitungan sebagai berikut:

T = F . L

T = 2,4598 . 0,0375

T = 0,0922425 Nm

3. Contoh Perhitungan Daya Poros

Contoh Perhitungan dilakukan pada fluida kerja air pada kapasitas 0,00004 m^3/s

$W_1 = F \cdot \frac{n}{k}$ (Watt)

Keterangan:

K = konstanta pengereman

= $60/2\pi L$

n = kecepatan putaran motor (rpm)

F = gaya akibat putaran motor (N)

W_1 = daya poros (Watt)

Setelah persamaan diketahui, dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$W_1 = F \cdot \frac{n}{k}$ (Watt)

$W_1 = 2{,}4598 \cdot \frac{2900}{254{,}77}$

$W_1 = 27{,}9986735$ Watt

4. Contoh Perhitungan Daya Air

Contoh Perhitungan dilakukan pada fluida kerja air pada kapasitas 0,00004 m^3/s

$W_2 = (P_d - P_s) \cdot Q$ (Watt)

keterangan :

W_2 = daya air (Watt)

P_d = tekanan sisi tekan (N/m^2)

P_s = tekanan sisi isap (N/m^2)

Setelah persamaan diketahui, dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$W_2 = (P_d - P_s) \cdot Q$ (Watt)

$W_2 = (109831.456 - (-5499.549)) \cdot 0{,}00004$ (Watt)

$W_2 = 4{,}61324$ Watt

5. Contoh Perhitungan Efisensi

$\eta = \frac{w_2}{w_1} x\ 100\%$

keterangan :

η = efisiensi (%)

W_2 = daya air (Watt)

W_1 = daya poros (Watt)

Setelah persamaan diketahui, dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$\eta = \frac{4{,}61324}{27{,}9986735} x\ 100\%$

$\eta = 16{,}47664$ %

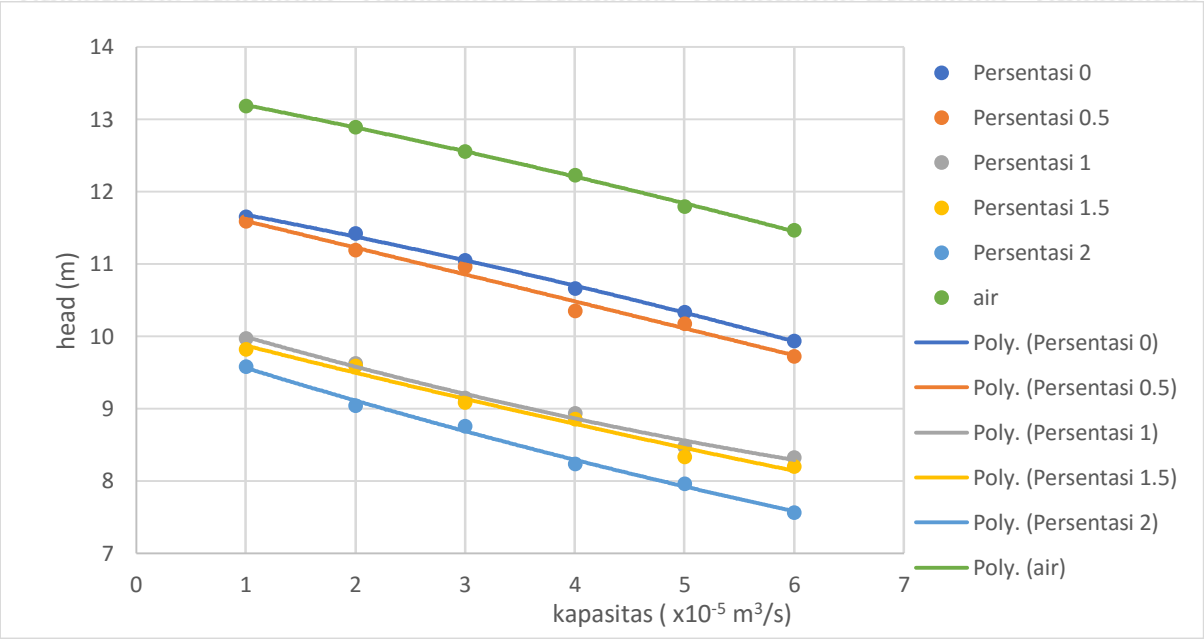
Tabel 4.3 Data Hasil Perhitungan

Fluida Kerja	Q (x t10^{-5} m^3/s)	Head (m)	Torsi (Nm)	Daya Poros (Watt)	Daya Air (Watt)	Efisiensi (%)
Air	1	13,19171575	0,090405	27,440931	1,247462	4,545991
	2	12,89319475	0,0907725	27,5524795	2,436472	8,843023
	3	12,56062952	0,091875	27,887125	3,55703	12,7551
	4	12,23003356	0,0922425	27,9986735	4,61324	16,47664
	5	11,79927419	0,0937125	28,4448675	5,555685	19,53142
	6	11,46867823	0,09555	29,00261	6,472623	22,31738
Air-*ethylene glycol*	1	11,65695698	0,128625	39,041975	1,17362534	3,006060375
	2	11,42377452	0,1341375	40,7152025	2,29841158	5,645094311
	3	11,05105079	0,135975	41,272945	3,33051921	8,069497367
	4	10,6642544	0,135975	41,272945	4,27866648	10,36675837
	5	10,33743074	0,135975	41,272945	5,17720345	12,54381884
	6	9,934720649	0,1414875	42,9461725	5,95960626	13,8769206
Air-*ethylene glycol* CuO 0,5%	1	11,59661152	0,128625	39,041975	1,17215161	3,002285643
	2	11,19373285	0,1341375	40,7152025	2,25957166	5,549700164
	3	10,96151439	0,135975	41,8306875	3,31609884	8,034558329
	4	10,35811309	0,1378125	41,8306875	4,16765604	9,963154538
	5	10,17343839	0,1378125	41,272945	5,11247025	12,22181742
	6	9,726682831	0,143325	43,503915	5,85308568	13,45415851
Air-*ethylene glycol* CuO 1%	1	9,970167664	0,1341375	40,7152025	1,00525035	2,468980352
	2	9,630250113	0,1341375	40,7152025	1,93871578	4,761650835
	3	9,151939346	0,135975	43,503915	2,75655678	6,678846833
	4	8,938284035	0,1378125	41,8306875	3,58516816	8,570665161
	5	8,475756048	0,143325	41,272945	4,2372647	9,739961794
	6	8,323405954	0,1451625	44,0616575	4,98819624	11,32094552
Air-*ethylene glycol* CuO 1,5%	1	9,823054083	0,1341375	40,7152025	0,99377744	2,440801909
	2	9,592735147	0,1341375	40,7152025	1,93871578	4,761650835
	3	9,084942423	0,1414875	44,6194	2,7465576	6,395348969
	4	8,856441927	0,1414875	42,9461725	3,5651698	8,301484376
	5	8,334749359	0,147	42,9461725	4,17990015	9,367898605
	6	8,198740126	0,147	44,6194	4,92935796	11,04756666
Air-*ethylene glycol* CuO 2%	1	9,585085672	0,135975	41,272945	0,97249815	2,356260621
	2	9,048047289	0,1378125	41,8306875	1,8306528	4,376339261
	3	8,757857519	0,143325	44,6194	2,65330059	6,098992677
	4	8,238284607	0,143325	43,503915	3,31648444	7,623416053
	5	7,963749258	0,147	43,503915	3,99947385	8,963531222
	6	7,567600653	0,1525125	46,2926275	4,54633074	9,820852662

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

4.3 Analisa dan Pembahasan

4.3.1 Pengaruh kapasitas dan persentase mikropartikel tembaga oksida terhadap head pompa sentrifugal



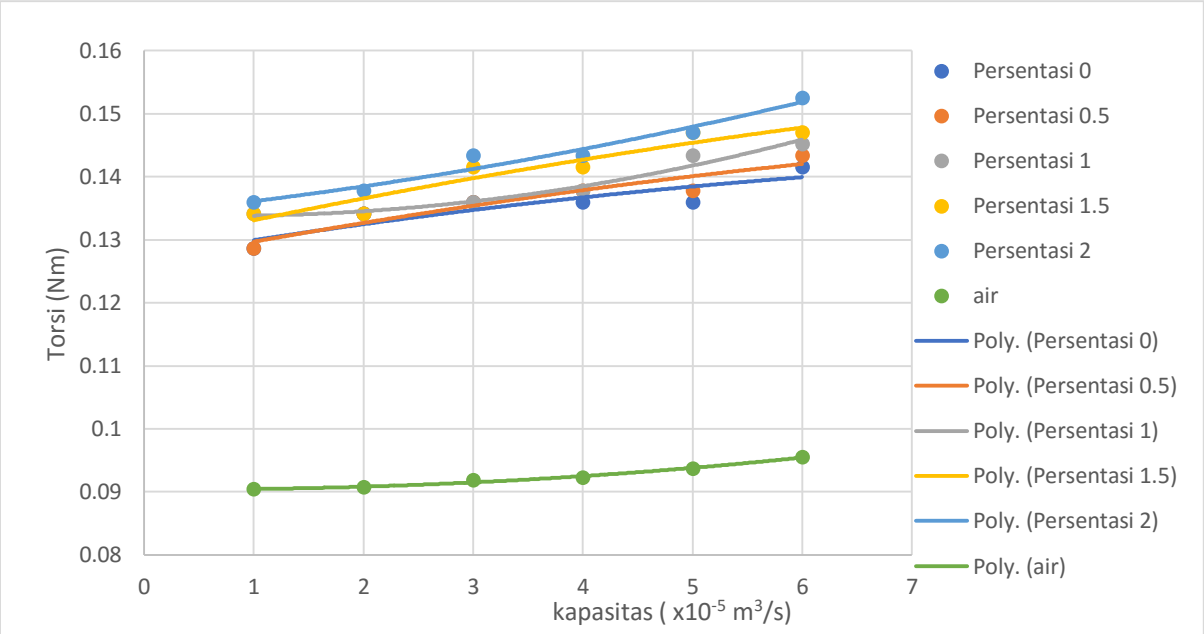
Gambar 4.3 Pengaruh kapasitas dan persentase mikropartikel tembaga oksida terhadap head pompa sentrifugal

Dari gambar 4.3 terlihat bahwa dengan adanya peningkatan kapasitas maka nilai head pun mengalami penurunan dan nilai head tertinggi dimiliki oleh air secara keseluruhan. Apabila dilihat pada masing-masing kapasitas yang diamati, head air tetap memiliki nilai tertinggi. Dengan penggantian fluida menggunakan campuran *ethylene glycol*-air, terjadi lah penurunan nilai head pada setiap kapasitas yang diamati. Hal itu pun terus terjadi dengan adanya penambahan mikropartikel CuO pada fluida *ethylene glycol*-air. Dengan terus meningkatnya persentase massa mikropartikel dalam fluida kerja, nilai head juga terus mengalami penurunan.

Hal ini terjadi karena dengan penggantian fluida kerja dari air menjadi campuran *ethylene glycol*-air maka akan memberikan dampak pada kinerja pompa, karena terjadi peningkatan massa jenis dan viskositas dari fluida kerja yang digunakan. Begitu pula dengan adanya penambahan massa mikropartikel, maka massa jenis campuran pun mengalami peningkatan sehingga menyebabkan terjadinya penurunan nilai head yang mampu dialirkan oleh pompa. Selain itu, penurunan nilai head yang sangat dipengaruhi oleh tekanan juga disebabkan karena adanya peningkatan gesekan antara fluida dengan saluran.

Jika dianalisa lebih mendalam menggunakan Persamaan Bernoulli, dapat dilihat bahwa nilai yang mengalami perubahan adalah nilai head. Sedangkan nilai head elevasi dan head kinetik tidak mengalami perubahan dikarenakan tidak ada perubahan ketinggian dan luas penampang saluran yang divariasikan dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini yang divariasikan adalah persentase mikropartikel CuO dalam campuran *ethylene glycol*-air yang mana akan mempengaruhi properties fluida kerja yang digunakan, terutama massa jenis dari fluida kerja itu. Dengan adanya mikropartikel CuO, maka massa jenis fluida akan meningkat, sehingga akan menurunkan nilai head tekan apabila dianalisa melalui Persamaan Bernoulli.

4.3.2 Pengaruh kapasitas dan persentase mikropartikel tembaga oksida terhadap torsi pompa sentrifugal



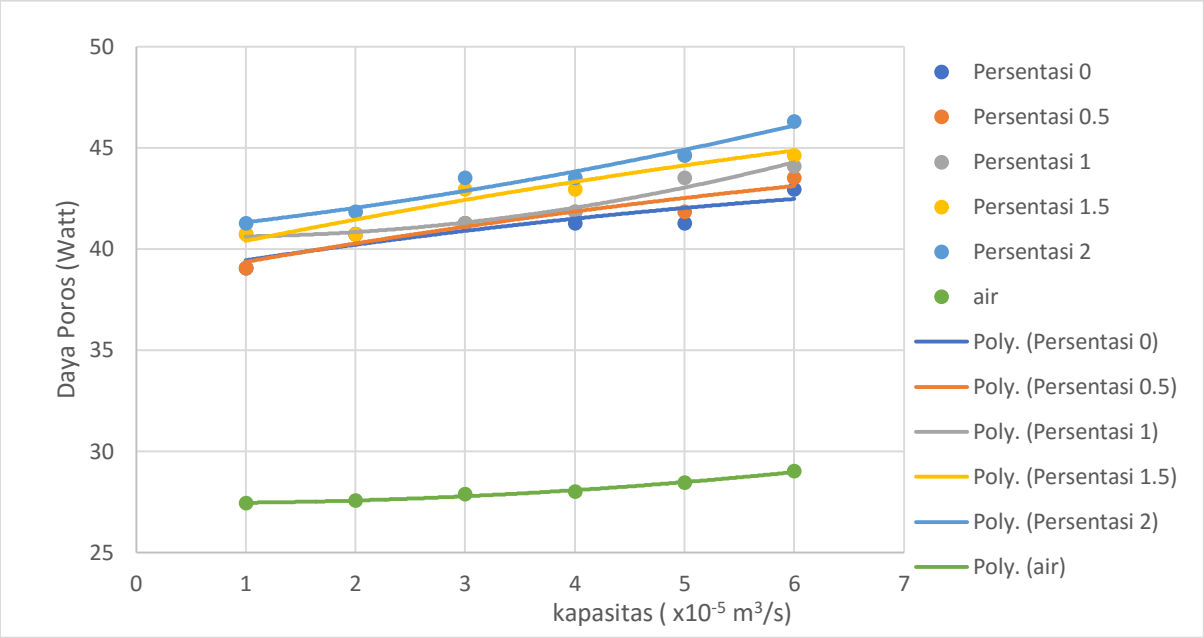
Gambar 4.4 Pengaruh kapasitas dan persentase mikropartikel tembaga oksida terhadap torsi pompa sentrifugal

Dari gambar 4.4 terlihat bahwa torsi terus mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya kapasitas dari fluida yang dialirkan oleh pompa. Ini terjadi karena dengan meningkatnya kapasitas yang dialirkan, maka gaya poros yang diterima juga mengalami peningkatan. Sejalan dengan peningkatan kapasitas, nilai torsi dari poros motor listrik dengan penggunaan fluida campuran *ethylene glycol*-air juga lebih besar jika dibandingkan dengan penggunaan fluida air biasa. Dan itu juga terjadi ketika terjadi peningkatan persentanse massa mikropartikel CuO pada fluida campuran *ethylene glycol*-air. Dengan

adanya peningkatan persentanse massa mikropartikel CuO pada fluida campuran *ethylene glycol*-air, nilai gaya poros yang terbaca pada alat ukur juga mengalami peningkatan, sehingga nilai torsi juga terus meningkat.

Peningkatan gaya itu terjadi karena dengan adanya penggunaan fluida campuran *ethylene glycol*-air, maka beban fluida yang harus dialirkan oleh pompa menjadi lebih tinggi jika dibandingkan air biasa karena massa fluida campuran *ethylene glycol*-air bernilai lebih besar. Begitupun dengan adanya penambahan mikropartikel CuO yang digunakan, maka beban fluida yang harus dialirkan oleh pompa akan lebih besar lagi karena massa fluida yang mengalir jauh lebih besar dari sebelumnya. Hal ini dikarenakan campuran antara CuO dan fluida campuran *ethylene glycol*-air memiliki massa jenis yang lebih besar dibanding air biasa. Dengan terus meningkatnya konsentrasi massa CuO, berarti akan meningkatkan jumlah CuO dalam *control volume* daerah *volute* maupun sekitaran impeller dan mengurangi jumlah fluida pada *control volume* tersebut tiap waktunya. Dengan terjadinya hal tersebut, mikropartikel CuO dengan nilai massa jenis yang jauh lebih tinggi akan menggantikan keberadaan fluida campuran *ethylene glycol*-air pada *control volume* tersebut tiap waktunya, sehingga beban yang diterima oleh poros pun ikut mengalami peningkatan.

4.3.3 Pengaruh kapasitas dan persentase mikropartikel tembaga oksida terhadap daya poros pompa sentrifugal

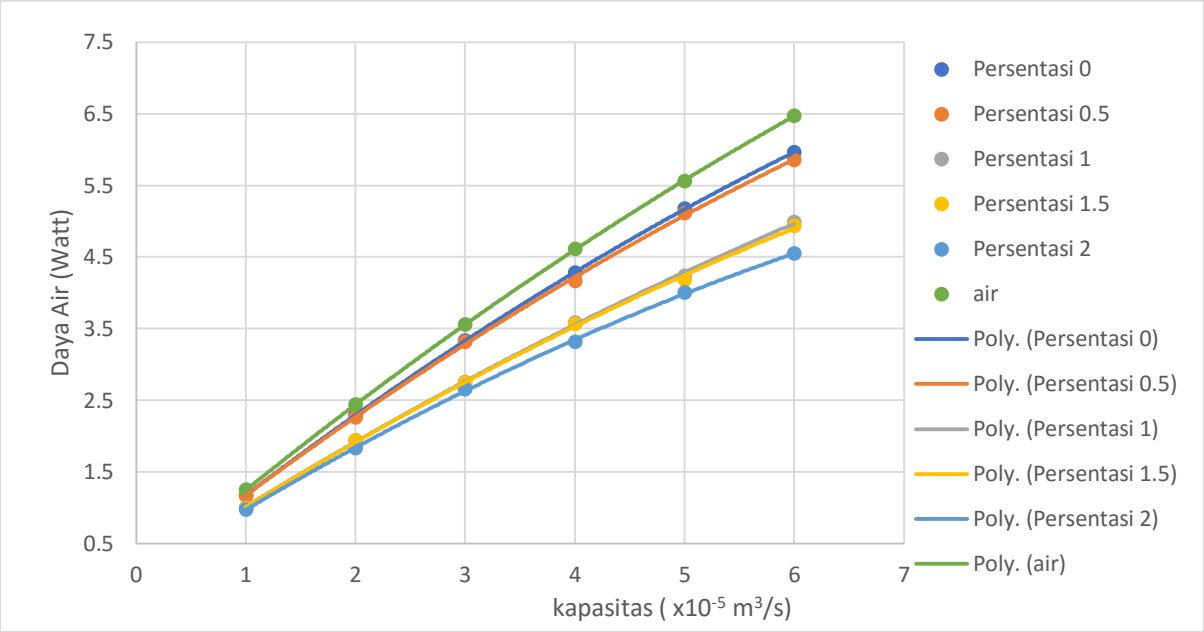


Gambar 4.5 Pengaruh kapasitas dan persentase mikropartikel tembaga oksida terhadap daya poros pompa sentrifugal

Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa daya poros terus mengalami peningkatan seiring dengan adanya penambahan kapasitas fluida yang dialirkan oleh pompa. Di dalam gambar juga terlihat bahwa nilai daya poros terendah dimiliki oleh air pada tiap kapasitasnya. Lalu mengalami peningkatan ketika fluida kerja campuran *ethylene glycol*-air digunakan. Peningkatan daya poros juga terus terjadi seiring dengan meningkatnya persentase mikropartikel CuO yang digunakan.

Peristiwa ini disebabkan karena dengan adanya peningkatan massa jenis dari fluida yang mengalir, maka gaya poros yang diterima juga mengalami peningkatan. Sebagaimana yang diketahui, hal yang memberikan pengaruh dalam perhitungan daya poros adalah hanya gaya yang diterima saja karena nilai putaran motor dan konstanta pengereman bernilai konstan.

4.3.4 Pengaruh kapasitas dan persentase mikropartikel tembaga oksida terhadap daya air pompa sentrifugal



Gambar 4.6 Pengaruh kapasitas dan persentase mikropartikel tembaga oksida terhadap daya air pompa sentrifugal

Pada gambar 4.6 dapat diambil kesimpulan bahwa daya air terus mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya kapasitas aliran yang mengalir. Hal ini sesuai dengan pernyataan yang ditunjukkan oleh rumus perhitungan yang digunakan dalam perhitungan daya air yang menunjukkan bahwa hubungan antara kapasitas dan daya air berbanding lurus.

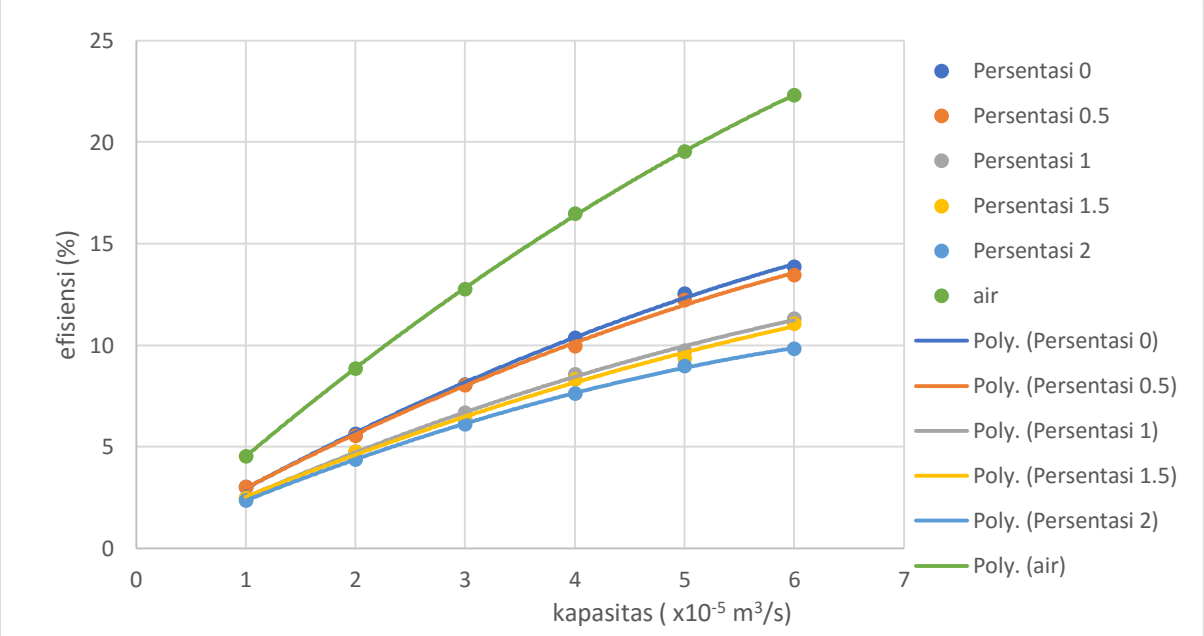
Daya air tertinggi diperoleh ketika fluida kerja menggunakan air biasa dan daya air terendah diperoleh ketika menggunakan campuran *ethylene glycol*-air dengan persentase 2%. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar massa jenis dan viskositas dari fluida maka semakin rendah pula daya air yang diperoleh.

Peristiwa menurunnya daya air dengan meningkatnya persentase mikropartikel CuO yang digunakan dapat dianalisa melalui penyebab turunnya nilai tekanan dan kapasitas karena dalam perhitungan daya air, hal yang mempengaruhi adalah nilai tekanan dan kapasitas. Tekanan sendiri akan mengalami penurunan seiring dengan adanya partikel CuO dalam campuran *ethylene glycol*-air. Hal ini dikarenakan dengan adanya mikropartikel CuO maka gesekan yang terjadi semakin besar. Energi yang seharusnya menjadi energi tekan berkurang akibat adanya energi yang terbuang akibat gesekan yang lebih besar antara fluida dengan lintasannya. Berbeda dengan campuran *ethylene glycol*-air saja, walaupun tidak

mengandung mikropartikel, namun jika dibandingkan dengan air biasa sebagai fluida kerja, campuran *ethylene glycol*-air tetap memiliki viskositas yang lebih tinggi sehingga akan memberikan gaya gesek yang lebih besar dan fluida juga akan lebih susah untuk dialirkan sehingga kapasitas fluida yang dapat dialirkan juga mengalami penurunan.

Sedangkan penyebab daya air campuran *ethylene glycol*-air lebih rendah dibandingkan dengan air biasa adalah karena dengan adanya campuran, maka massa masing-masing partikel akan berbeda, dan hal ini berpengaruh ketika terjadi peristiwa resirkulasi pada sisi isap dan sisi tekan pompa. Pada aliran resirkulasi fluida air biasa, akan terjadi perbedaan tekanan pada beberapa tempat di sisi isap yang akan menyebabkan adanya *vortices* dan aliran balik yang saling bertubrukan. Hal ini saja sudah menyebabkan terjadinya losses pada pompa, apalagi ketika digunakan fluida campuran maka perbedaan massa jenis antar partikel akan semakin tidak beragam dan menyebabkan losses semakin besar pada saat terjadi peristiwa resirkulasi.

4.3.5 Pengaruh kapasitas dan persentase mikropartikel tembaga oksida terhadap efisiensi pompa sentrifugal



Gambar 4.7 Pengaruh kapasitas dan persentase mikropartikel tembaga oksida terhadap efisiensi pompa sentrifugal

Pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi pompa terus mengalami peningkatan dengan adanya peningkatan nilai kapasitas yang dialirkan oleh pompa. Jika melihat perbandingan dari fluida kerja yang digunakan, fluida kerja air tetap memiliki nilai

efisiensi tertinggi, lalu diikuti dengan campuran *ethylene glycol*-air, campuran *ethylene glycol*-air CuO 0,5%, campuran *ethylene glycol*-air CuO 1%, campuran *ethylene glycol*-air CuO 1,5% dan yang terendah adalah campuran *ethylene glycol*-air CuO 2%.

Fenomena ini terjadi karena efisiensi dari pompa akan terus mengalami penurunan apabila fluida kerja yang digunakan memiliki nilai massa jenis dan viskositas yang lebih tinggi, yang mana pada penelitian ini telah diketahui bahwa campuran *ethylene glycol*-air memiliki viskositas dan massa jenis yang lebih besar apabila dibandingkan dengan air biasa. Hal ini dikarenakan beban fluida yang harus dialirkan oleh pompa menjadi lebih besar. Dengan meningkatnya nilai massa jenis maka akan menyebabkan terjadinya penurunan head tekan sehingga akan menyebabkan terjadinya penurunan kapasitas yang mampu dialirkan pompa dengan kerja pompa yang bernilai tetap. Dengan kemampuan mengalirkan kapasitas yang lebih kecil maka akan menurunkan daya air sehingga pada akhirnya akan menurunkan nilai efisiensi pompa. Selain itu, hal kedua yang menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi adalah karena dengan adanya peningkatan jumlah mikropartikel CuO dalam fluida, maka aliran fluida cair yang masuk pada sisi isap menjadi lebih sedikit. Perlu diketahui, ketika beroperasi, pompa pasti mengalami aliran resirkulasi pada sisi isap dan sisi tekan nya. Aliran resirkulasi merupakan aliran balik yang terjadi akibat adanya perbedaan tekanan yang dimiliki oleh masing masing garis aliran pada sisi isap dan sisi tekan. Hal ini merupakan salah satu penyebab losses aliran yang terjadi pada sisi isap dan sisi tekan pompa. Dengan adanya peningkatan massa mikropartikel CuO dalam campuran *ethylene glycol*-air maka akan berpengaruh juga terhadap fenomena resirkulasi ini. Pada fenomena resirkulasi fluida cair, akan terjadi tubrukan antara garis aliran yang saling berpotongan dan fluida yang bertubrukan hanya terdiri dari partikel fluida yang sama. Sedangkan ketika mikropartikel CuO bercampur dengan fluida *ethylene glycol*-air dan terjadi fenomena resirkulasi, maka tubrukan antar garis aliran yang terjadi akan memungkinkan terjadinya tabrakan antara partikel fluida cair dan mikropartikel CuO yang memiliki massa jenis lebih tinggi, sehingga air akan lebih susah melewatinya apabila dibandingkan dengan adanya tubrukan antara sesama partikel fluida cair. Sehingga banyaknya air yang masuk akan berkurang dan menyebabkan terjadinya daya air ikut berkurang. Penyebab ketiga adalah, dengan adanya mikropartikel logam, maka banyak terjadinya konversi energi tekanan campuran *ethylene glycol*-air menjadi energi gesekan antara fluida cair dan naopartikel. Hal ini juga akan menurunkan nilai energi yang dimiliki oleh fluida cair dan menurunkan nilai head maupun daya air dari fluida. Selain itu, minor losses dan mayor losses dalam saluran yang terjadi pun semakin besar akibat adanya mikropartikel CuO karena memiliki *friction losses* yang lebih

besar apabila dibandingkan dengan air biasa. Dan penyebab terakhir adalah, dengan adanya pencampuran mikropartikel CuO dalam campuran *ethylene glycol*-air juga meningkatkan getaran pada pompa. Getaran ini sebenarnya disebabkan oleh fenomena resirkulasi yang telah dibahas sebelumnya, karena dengan adanya beda fase antara fluida yang bersifat liquid dan adanya mikropartikel yang berwujud solid, akan memberikan ketimpangan beda tekanan yang lebih besar pada bagian sekitaran sisi isap impeller jika dibandingkan dengan beda tekanan yang terjadi antara fluida sejenis seperti air. Beda tekanan ini akan menyebabkan perbedaan garis aliran yang bertubrukan dan terjadinya *vortices* di sekitaran sisi isap dan memberikan getaran pada pompa sehingga mengurangi kestabilan poros dan menyebabkan terjadinya mechanical losses degan meningkatnya gesekan pada poros yang berputar.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah penelitian dilakukan dan dilakukan beberapa analisa, didapatkanlah kesimpulan mengenai penelitian ini dengan kesimpulan yaitu:

1. Penggunaan fluida campuran *ethylene glycol*-air akan menurunkan nilai head, daya air dan efisiensi pompa. Sedangkan nilai torsi dan daya poros mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan penggunaan fluida air.
2. Penambahan persentase jumlah nanopartikel CuO dari 0%, 0,5%, 1%, 1,5% dan 2% akan menurunkan nilai head, daya air dan efisiensi pompa. Sedangkan nilai torsi dan daya poros mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan penggunaan fluida air.

5.2 Saran

1. Diperlukan penelitian dengan menggunakan fluida campuran lain untuk lebih mudah melihat kecenderungan karakteristik pompa terhadap fluida yang digunakan
2. Untuk kedepannya, alat ukur yang digunakan lebih baik menggunakan sistem digital secara sepenuhnya agar lebih cepat dan mudah dalam pengambilan data

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR PUSTAKA

Aliabadi, M.K., Akbari, M.H., Hormozi, F., (2016). An empirical study on vortex generator insert fitted in tubular heat exchangers with dilute Cu–water nanofluid flow. Chinese Jurnal of Chemical Engineering.

Arijanto., Yohana E., Sinaga, F.T.H., (2015) Analisis Pengaruh Kekentalan Air dan Minyak Kelapa pada Performansi Pompa Sentrifugal. Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol.3, No. 2, Semarang: Universitas Diponogoro.

Bozorgan, N., Krishnakumar, K., Bozorgan, N., (2012), Numerical Study on Application of CuO-Water Nanofluid in Automotive Diesel Engine Radiator. *Modern Mechanical Engineering.* 2 (2012):130-136

Bramantya, M.A., Sugiyono., Rama D., (2007) Pengaruh Diffuser Pada Flens Isap dan Lock Nut Impeller Berbentuk Tirus Terhadap Karakteristik Pompa Sentrifugal. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM Vol. No. 1. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Cengel, Y.A. dan Cimbala, J.A., (2006). Fluids Mechanic Fundamentals and Applications.. New York: McGraw Hill Companies Inc.

Choi S. Lee, U.S. Choi, S. Li, J.A. (1999). Eastman, Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, ASME Journal of Heat Transfer 121 (1999) 280e289

Crowe, C.T., Elger, D.F., Williams, B. C., Roberson, J.A., (2009). *Engineering Fluid Mechanics.* United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

Eastman, J.A., Choi, S.U.S., Li, S., Yu, W., Thompson, L.J., (2001), Anomalously Increased Effective Thermal Conductivities of Ethylene Glycol-Based Nanofluids Containing Copper Nanoparticles. *Appl. Phys. Lett.* 78: 718-720.

Fox, W.R., McDonald, A.T., Pritchart, P.J., (2003) Introduction to Fluid Mechanics. John United States: Willey and Sons Inc.

Garg, J., Poudel, B., Chiesa, M., Gordon, J. B., Ma. J.J., Wang, J. B., Ren, Z.F., Kang, W.T., Ohtani, H., Nanda, J., McKinley, G.H., Chen, G., (2008). Enhanced Thermal Conductivity And Viscosity Of Copper Nanoparticles In Ethylene Glycol Nanofluid. *Journal Of Applied Physics.* 103 (2008): 074301

Haq, R.U., Khan, Z.H., Hussain, S.T., Hammouch, Z., (2016). Flow And Heat Transfer Analysis Of Water And Ethylene Glycol Based Cu Nanoparticles Between Two Parallel Disks With Suction/Injection Effects. *Journal of Molecular Liquids.* 221 (2016):298–304.

Irawan, D., Kristiawan, B., Budiana,E. P., (2013). Studi Eksperimental Kalor Konveksi Fluida Nano Al_2O_3/Ethylene Glycol pada Circular Tube dibawah Kondisi Fluks Kalor Konstan. Volume 11 Nomor 2. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

Kabeel, A.E., Maaty, T.A., Samadony, Y.E., (2012). The Effect Using Nanoparticles on Corrugated Plate Heat Exchanger Performance. Elsevier: Applied Thermal Engineering.

Karassic, I.J., Messina, J.P., Copper, P., Heald, C.C., (2001). *Pump Handbook.* United States of America: R. R. Donnelley & Sons Company.

Lien, K., Monty J.P., Chong, M.S., Ooi, A., (2004). The Enterance Length for Fully Developed Turbulent Channel Flow. Sidney: The University of Sidney.

Lienhard IV, J. H., Lienhard V, J. H., (2006). *A Heat Transfer Textbook.* United States of America: Phlogiston Press.

Manca, O., Jaluria, Y., Paulikakos, D., (2010). Heat Transfer in Nanofluids. Hindawi Publishing Corporation.

Meybodi, M.K., Daryasafar, A., Koochi, M.M., Moghadasi, J., (2015). A Novel Correlation Approach for Viscosity Prediction of water based nanofluids of Al_2O_3, TiO_2, SiO_2, and CuO. Elsevier: Jurnal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers.

Moran, M. J., Shapiro, H. N., Munson, B. R., DeWitt, D. P., (2003). *Introduction to Thermal Systems Engineering.* United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., Huebsch, W. W., (2009). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

Namburu, P. K., Kulkarni, D. P., Misra, D., Das, D.K., (2007). Viscosity Of Copper Oxide Nanoparticles Dispersed In Ethylene Glycol And Water Mixture. *Experimental Thermal and Fluid Science* 32 (2007): 397–402.

Ridwan. (1999). Mekanika Fluida Dasar. Jakarta: Universitas Gunadarma

Torii, Shuichi. (2007). Experimental Study on Convective Heat Transfer of Aqueous Suspensions of Nano-Diamond Particle. Japan: Kumamoto University

Xu, J., Bandyopadhyay, K., Jung, D., (2015). Experimental Investigation On The Correlation Between Nano-Fluid Characteristics And Thermal Properties Of Al2O3 Nano-Particles Dispersed In Ethylene Glycol–Water Mixture. *International Journal of Heat and Mass Transfer.* 94 (2016):262-268