

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dari abad keabad semakin meningkat pesat, salah satunya adalah tentang pendinginan yang merupakan suatu kebutuhan utama didalam banyak sektor industri, termasuk transportasi, kebutuhan dibidang energi dan produksi serta bidang elektronika. Pendinginan adalah masalah utama yang sering dihadapi oleh dunia industry, perkembangan teknologi ditandai dengan semakin kecil dimensi produk sekaligus peningkatan kemampuan yang tinggi, sehingga fluks kalor yang dibangkitkan juga meningkat. Pada umumnya fluida pendingin yang digunakan adalah air, oli, *ethylene glycol* yang mempunyai sifat-sifat konduktifitas thermal sangat rendah dibandingkan dengan kebanyakan benda padat. Walaupun perkembangan dan riset terdahulu dilakukan berfokus pada persyaratan perpindahan kalor pada industri maupun transportasi, peningkatan utama dalam kemampuan perpindahan kalor sangat kurang. Sebagai akibatnya, suatu usaha dibutuhkan untuk mengembangkan suatu strategi baru dalam meningkatkan efektivitas perpindahan kalor dari fluida konvensional tersebut agar diperoleh suatu fluida dengan konduktivitas yang lebih tinggi.

Dengan berbagai permasalahan tersebut, salah satu cara untuk meningkatkan perpindahan panas adalah memperbaiki thermal properties fluida pendingin, khususnya konduktivitas thermal. Pada umumnya fluida konvensional yang digunakan memiliki konduktivitas termal yang rendah. Seiring berkembangnya nanoteknologi yang didasarkan pada penambahan partikel padat yang berukuran nanometer kedalam fluida yang sering disebut dengan nanofluid, mampu meningkatkan sifat-sifat fluida sebagai pemindah panas, khususnya konduktivitas panas. Istilah "*nanofluid*" pertama kali dikenalkan oleh Choi (1995), yang didefinisikan sebagai fluida dasar yang ditambah (*suspend*) partikel padat ukuran nanometer ($<100\text{nm}$) yang berfungsi untuk memperbaiki thermal properties fluida. Secara umum thermal properties fluida yaitu konduktifitas termal, viskositas, dan densitas nanofluida meningkat sebanding dengan peningkatan prosentase volume partikel, sebaliknya panas jenis turun sebanding dengan

peningkatan prosentase volume. Pada proses perpindahan panas konveksi, peningkatan konduktifitas termal nanofluida diharapkan meningkatkan perpindahan panas dalam aliran tanpa membawa dampak terhadap penggunaan energi. Untuk fluida murni, peningkatan koefisien perpindahan panas sebanding dengan konduktifitas termal fluida, sedangkan penggunaan energi sebanding dengan viskositas fluida. Semakin tinggi viskositas fluida semakin besar energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan fluida dalam sistem. Peningkatan viskositas nanofluida membawa dampak terhadap penggunaan energi (*pumping power*), sehingga peningkatan koefisien perpindahan panas berkompetisi dengan peningkatan *pumping power* karena gesekan. Ketika peningkatan perpindahan panas lebih besar dibandingkan dengan kerugian akibat peningkatan penggunaan energi, maka nanofluida layak digunakan sebagai fluida kerja perpindahan panas.

Beberapa penelitian telah dilakukan oleh para peneliti seperti dilakukan oleh Choi yang mencampurkan partikel CuO dan Al₂O₃ dalam ukuran nanometer dengan fluida cair diantaranya air dan *ethylene*. Dari hasil penelitian diperoleh peningkatan perpindahan kalor konduksinya sebesar 20%. Lalu Eastman, et.al menyatakan dari hasil penelitiannya diperoleh peningkatan sebesar 40% pada termal konduktivitasnya hanya dengan menambahkan 0.3% partikel Cu pada *ethylene glycol*. Penelitian terhadap pengukuran termal konduktivitas dari nanofluida juga dilakukan oleh Lee, et.al dengan menggunakan metode *hotwire* dihasilkan peningkatan termal konduktivitas nanofluida sebesar 1% - 10% dengan penambahan 1% - 4% partikel CuO dan Al₂O₃ dari volume campuran. Das, et.al menyatakan melalui penelitiannya bahwa nanofluida dengan campuran partikel Al₂O₃ memiliki termal konduktivitas lebih tinggi 20% dibandingkan hanya menggunakan fluida dasar saja. Ini juga diprediksikan oleh Putra dan diperkuat dengan penelitian lanjutannya yang menunjukkan peningkatan koefisien perpindahan kalor sebesar 6% - 8% pada konsentrasi 1% - 4% dengan range temperatur 40°C - 60°C.

Pada penelitian yang akan dilakukan, penulis menggunakan berbagai variasi prosentase nanopartikel dengan masing-masing prosentase 0.15%, 0.25%, dan 0.5% pada aliran debit *nanofluid* 0.1 lpm, 0.15 lpm, 0.2 lpm, 0.25 lpm, 0.3 lpm

dan 0.35 lpm dengan suhu masuk konstan (tetap) yaitu 40°C kemudian menganalisisnya untuk didapatkan unjuk kerja *double pipe parallel flow heat exchanger*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang diatas, dapat diambil rumusan masalah yang akan diteliti yaitu bagaimana pengaruh prosentase nanopartikel Al_2O_3 dalam media pendingin terhadap unjuk kerja *double pipe paralel flow heat exchanger*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk lebih memfokuskan masalah dan menghindari agar permasalahan tidak meluas, maka dalam penelitian ini digunakan beberapa batasan sebagai berikut:

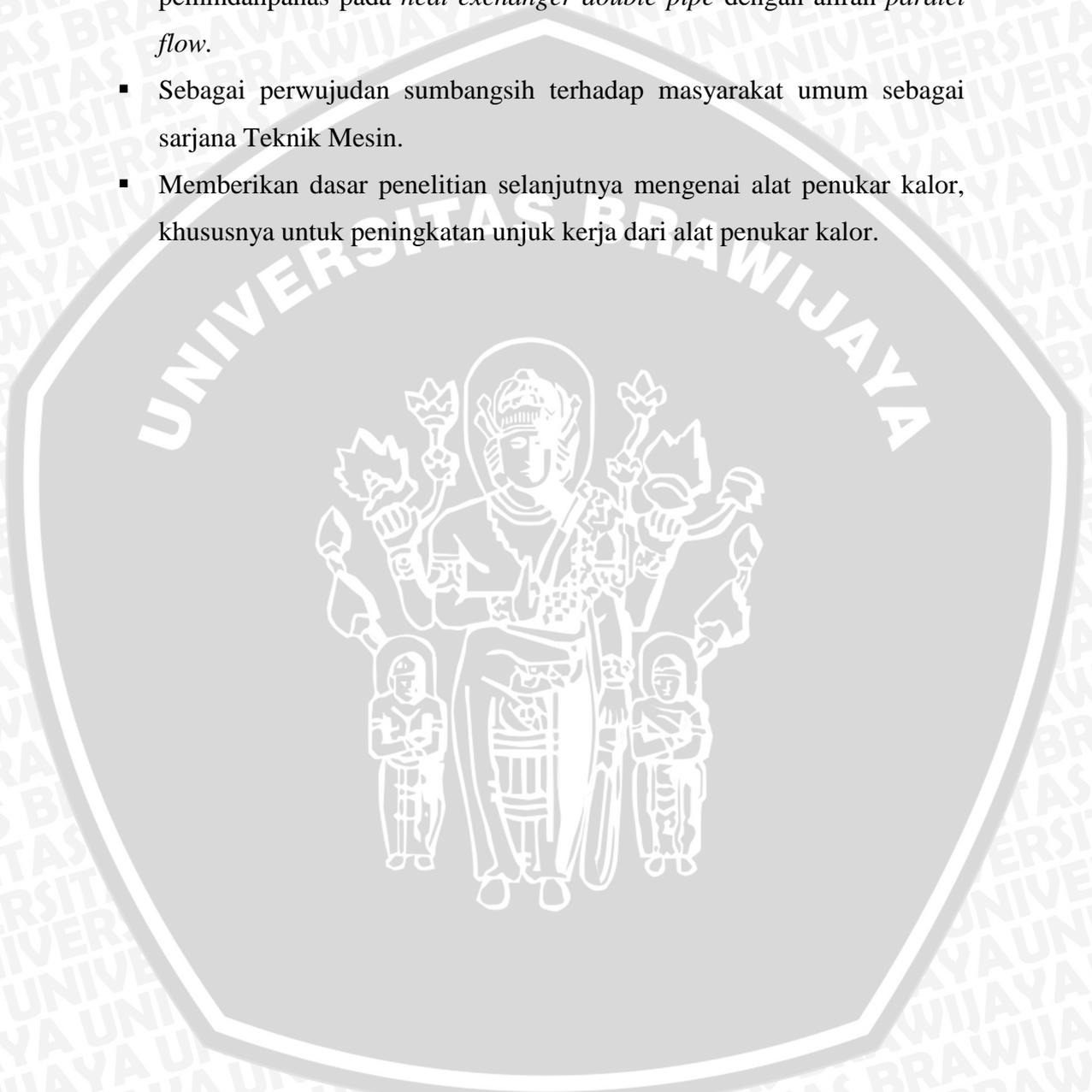
- Penelitian dilakukan pada sebuah model instalasi *double pipe heat exchanger* dengan tipe aliran *paralel flow*
- Kondisi dianggap *steady state*
- Fluida pendingin yang digunakan adalah air PDAM di Malang
- Fluida panas yang digunakan adalah campuran antara nanopartikel (alumina) dengan air atau disebut *nanofluid*
- Variasi debit *nanofluid* yang digunakan adalah:
 - lpm, 0.15 lpm, 0.2 lpm, 0.25 lpm, 0.3 lpm dan 0.35 lpm
- Prosentase nanopartikel yang digunakan adalah 0.15%, 25%, dan 0.5%
- Suhu *nanofluid* yang masuk pipa dijaga tetap 40°C
- Dianggap tidak ada kerak di bagian dalam pipa
- Dianggap dinding pipa luar terisolasi sempurna

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh prosentase *nanopartikel* dalam media pendingin sebagai fluida kerja terhadap peningkatan perpindahan kalor pada instalasi *double pipe heat exchanger* dengan tipe *paralel flow*.

1.5 Manfaat Penelitian

- Agar masyarakat mengetahui jenis fluida pendingin yang paling baik dalam hal menukar kalor.
- Dapat mengetahui seberapa besar kinerja *nanofluid* sebagai fluida pemindahpanas pada *heat exchanger double pipe* dengan aliran *paralel flow*.
- Sebagai perwujudan sumbangsih terhadap masyarakat umum sebagai sarjana Teknik Mesin.
- Memberikan dasar penelitian selanjutnya mengenai alat penukar kalor, khususnya untuk peningkatan unjuk kerja dari alat penukar kalor.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Nandy et.al (2004) melakukan eksperimen perpindahan kalor konveksi paksa pada nanofluida dengan partikel Al_2O_3 , pengukuran koefisien perpindahan kalor ini dengan menggunakan alat perpindahan kalor pipa ganda dalam susunan tipe aliran berlawanan. Hasil pengukuran menunjukkan peningkatan nilai koefisien konveksi untuk nanofluida konsentrasi 1% sebesar 6-10% dan konsentrasi 4% sebesar 7-17%. Hal ini juga pernah diprediksi oleh Nandy dan diperkuat dengan penelitian lanjutannya yang menunjukkan peningkatan koefisien perpindahan kalor sebesar 6%-8% pada konsentrasi 1-4% dalam jangkauan temperature $40^{\circ}C$ - $60^{\circ}C$.

Peyghambarzadeh, *et al.* (2011) juga membandingkan efisiensi perpindahan kalor pada radiator dengan menggunakan air dan *ethylene glycol* fluida dasar sebagai fluida dasar. Penelitian ini menyimpulkan bahwa peningkatan efisiensi perpindahan kalor meningkat sekitar 40% pada masing-masing fluida dasar yang digunakan.

Angga Permana, menggunakan nanofluida (Al_2O_3 +air) sebagai fluida kerja dibandingkan menggunakan air murni pada radiator otomotif yang dipasang pada terowongan angin. Pada penelitian tersebut dilakukan proses perpindahan kalor konveksi paksa antara fluida kerja nanopartikel dengan udara sebagai pendinginnya. Dari hasil penelitian diketahui bahwa koefisien perpindahan kalor konveksi nanofluida mengalami peningkatan sebesar 31-48% untuk konsentrasi 1% dan peningkatan sebesar 52-79% untuk konsentrasi 4% dari fluida dasarnya.

Pada penelitian yang akan dilakukan, penulis menggunakan berbagai variasi prosentase massa nanopartikel dengan prosentase 0.15%, 0.25% dan 0.5% pada aliran debit *nanofluid* konstan (tetap) dan pada masuk $40^{\circ}C$ kemudian menganalisanya untuk didapatkan unjuk kerja *double pipe parallel flow heat exchanger*.

2.2 Nanofluida

Nanofluida adalah campuran antara nanopartikel (1-100nm) dengan fluida dasarnya, yang dibuat dengan mencampurkan partikel nano dari bahan seperti karbon, tembaga atau oksida tembaga ke dalam cairan seperti pendingin minyak (oli), air dan etilen glikol. Partikel berukuran nano tersebut tersuspensi ke dalam fluida dasar secara permanen karena adanya efek Brownian pada partikel tersebut. Gerak Brownian adalah gerak tidak teratur partikel dalam yang disebabkan tumbukan antara molekul-molekul partikel dan molekul-molekul cairan sebagai pelarut.

2.2.1 Konsep Nanofluida

Penelitian-penelitian terhadap nanofluid yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu, menunjukkan bahwa nanofluida memiliki potensi untuk memenuhi kebutuhan yang meningkat dalam kemampuan pemindahan kalor. Oleh karena itu perlu untuk meningkatkan efisiensi. Pada umumnya fluida konvensional yang digunakan untuk memindahkan kalor memiliki konduktivitas termal yang rendah. Dengan demikian, perlu adanya pengembangan untuk fluida yang digunakan.

Konsep dan kemunculan nanofluida dimulai sejak Maxwell (1881) meneliti dengan mendispersikan partikel berukuran mili maupun mikro ke dalam fluida. Tetapi tetap saja partikel tersebut masih terlalu besar untuk terdispersi ke dalam fluida sehingga jika mengalir dalam pipa akan menyumbat alirannya. Dengan ditemukannya teknologi ini, maka sebagai akibat meningkatnya persaingan global dan banyak industri yang mengembangkan fluida baru sebagai penghantar kalor dimana konduktivitas termalnya lebih baik dibanding fluida biasa yang umumnya dipakai sekarang.

Seperti kita ketahui, pada temperatur ruang logam dalam bentuk solid memiliki nilai konduktivitas termal yang lebih tinggi dibandingkan fluida. Sebagai contoh, kita dapat melihat Tabel 2.1. konduktivitas termal aluminium pada temperatur ruang adalah sekitar 400 kali lebih besar dari air, 1000 kali dari *ethylene glycol*, dan 2000 kali lebih besar dari minyak mesin. Dan konduktivitas termal cairan metalik lebih tinggi dari cairan non-metalik. Dari keterangan tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa konduktivitas termal fluida yang

telah didispersikan partikel metalik maupun non-metalik dalamnya akan lebih baik dibandingkan fluida konvensional.

Tabel 2.1 Contoh konduktivitas termal dari beberapa material pada temperature 300°K

Jenis Material	Contoh Material	Nilai k (W/mK) ^a
Padatan Metalik	Perak	429
	Tembaga	401
	Aluminium	237
Padatan Non-Metalik	Intan	3300
	Carbon Nanotube	3000
	Silikon	148
	Alumina (Al ₂ O ₃)	40
Cairan Metalik	Sodium pada 644 K	72.3
Cairan Non-Metalik	Air	0.613
	Ethylene Glycol	0.253
	Minyak Mesin	0.145

Sumber : Das et.al : 2007

2.2.2 Perkembangan Nanofluida

Choi (1995) merupakan orang yang pertama kali menggunakan istilah nanofluida dan menggunakan fluida cair dengan dengan nanopartikel tersuspensi di dalamnya . Setelah *Choi* memperkenalkan nanofluida ini , banyak dari *scientist* dan *engineer* yang meneliti dan mengembangkan potensi yang dimiliki nanofluida ini . Perkembangan yang dilakukan bukan hanya dengan meneliti sifat-sifat nanofluida tetapi juga mengembangkan peralatan yang dapat menggunakan nanofluida sebagai fluida kerja atau dapat disebut sebagai *next generation coolant* seperti *smart coolant* untuk computer dan *safe coolant* untuk reaktor nuklir.

Karena ukurannya yang sangat kecil, maka nanopartikel memiliki keistimewaan yaitu :

- Mampu tersuspensi lebih lama dalam fluida dibanding mikropartikel dan jika ditambahkan dengan *surfactants* atau *stabilizer*.
- Luas permukaan per unit volum dari nanopartikel sekitar 1000 kali lebih tinggi daripada mikropartikel, artinya pelepasan kalor menjadi lebih cepat karena $A_{\text{nanopartikel}} > A_{\text{mikropartikel}}$

Tabel 2.2 Perbandingan mikropartikel dengan nanopartikel

Segi	Mikropartikel	Nanopartikel
Stabilitas	Cepat mengendap	Hampir Stabil
Rasio A/V	I	1000 kali lebih besar
Konduktivitas	Rendah	Tinggi
Menyumbat dalam pipa mikro ?	Ya	Tidak
Erosi ?	Ya	Tidak
Daya Pemompaan	Besar	Kecil
Fenomena skala nano ?	Tidak	Ya

Sumber : Das et.al: 2007

2.2.3 Pembuatan Nanofluida

Partikel-partikel dalam ukuran nanometer pada fluida menyebabkan meningkatnya interaksi dan tumbukan antara partikel, fluida dan permukaan yang dilaluinya, adanya fluktuasi pencampuran dan turbulensi dari fluida yang meningkat serta gradien temperature dari fluida yang mengecil. Partikel nano ini mengalami gerak Brownian sehingga ketika fluida dalam keadaan diam, partikel ini terdistribusi merata dengan gaya apung (*buoyancy*) sehingga tidak terjadi sedimentasi

Dalam pencampuran nano partikel pada fluida dasar, sangat sedikit literature yang menjelaskannya. Penelitian-penelitian dari Laboratorium nasional Argonne, menjelaskan ada dua teknik pencampuran nanofluida yaitu teknik pertama, nano partikel dibuat dan dicampurkan ke dalam fluida dasar secara bersamaan dan teknik kedua, pembuatan nano partikel dan pencampuran partikel tersebut

dilakukan secara terpisah. Akan tetapi kedua teknik tersebut memperoleh hasil yang baik hanya untuk partikel nano oksida dan tidak untuk partikel nano logam.

Untuk mencari hasil yang lebih baik Das et.al (2003), melakukan pencampuran menggunakan *ultrasonic vibration* yang menghasilkan campuran dimana partikel nano dapat terdispersi dengan baik pada campuran. Dalam persiapannya nanofluida ini perlu diperhatikan densitas dari partikel nano untuk mendapatkan perbandingan campuran yang tepat. Putra et.al (2002) melakukan pencampuran menggunakan ultrasonic vibration yang menghasilkan campuran yang partikel nanonya terdispersi dengan baik. Karakteristik yang terbentuk tergantung dengan fraksi volume dari partikel yang dicampurkan. Pada penelitian ini, digunakan prosentase massa sebesar 0.15%, 0.25% dan 0.5% nanopartikel Al_2O_3 .

Pada penelitian-penelitian sebelumnya digunakan persentase volume untuk menentukan konsentrasi campuran *nanofluida*. Volum partikel ditentukan dengan menggunakan densitas sebenarnya dari partikel nano dan massanya dengan mengabaikan massa udara yang terperangkap di dalamnya. Pencampuran partikel nano kedalam partikel fluida dasar mengakibatkan pembentukan karakteristik baru terhadap fluida yang dihasilkan, karakteristik yang terbentuk tergantung dengan fraksi volume partikel yang dicampurkan.

Secara garis besar, untuk menghasilkan nanofluida, setidaknya ada 2 metode dasar yang dikembangkan yaitu:

1. Metode *Single Step*, dimana proses pembuatan nanopartikel dan pendispersiannya ke dalam fluida dilakukan secara sekaligus dalam satu tahapan di dalam base fluid-nya.
2. Metode *Two Step*, dimana proses pembuatan nanopartikel dan pendispersiannya ke dalam fluida tidak dilakukan secara sekaligus dalam tempat yang sama (di base fluid-nya). Proses pembuatan nanopartikel dan proses pendispersinya adalah proses yang terpisah.

Untuk nanopartikel, biasanya jenis-jenis material yang digunakan antara lain :

- Oksida keramik (Al_2O_3 CuO)
- Nitrit keramik (AlN, SiN)

- Karbida keramik ($SSiC, TiC$)
- Logam (Cu, Ag, Au)
- Semikonduktor (TiO_2, SiC)
- Carbon Nanotubes
- Material komposit ($Al_{70}Cu_{30}$)

Sedangkan *base fluid*-nya , digunakan fluida-fluida seperti :

- Air
- Ethylene Glycol
- Minyak dan Pelumas
- Bio-fluids

2.2.3.1 Metode Satu Langkah (*Single-Step Method*)

Metode satu langkah maksudnya adalah membuat partikel nano yang kemudian langsung didispersikan ke fluida dasarnya dengan menggunakan teknik reduksi kimia.

Ada beberapa eksperimen yang dilakukan untuk membuat nanofluida metode satu langkah, antara lain dilakukan oleh Liu et al (2006) untuk meningkatkan konduktivitas termal dari air dicampur Cu dngan metode reduksi kima . Nanopartikel tembaga (Cu) dihasilkan dalam air dengan mereduksi Copper acetate. Ion Cu^{2+} direduksi menjadi atom tembaga (Cu). Dari atom tembaga terjadi presipitasi membentuk partike nano tembaga.

Copper acetae ($Cu(CH_3COO)_2$) digunakan sebagai bahan baku yang direndal air deinized. Larutan diaduk pada temperature $55^{\circ}C$ dengan nitrogen hydrazine (N_2H_4) sebagai bahan produksi. Jumlah larutan hydrazine ditambah dengan tetap diaduk rata. Larutan didinginkan dengan suhu $0^{\circ} C$ dan dibiarkan mengendap, kemudian dicuci dengan air deinized untuk membersihkan kotoran. Fraksi volume partikel nano Cu dalam larutan dibawah 0,2 vol %.

Eksperimen yang dilakukan oleh Zhu et.al(2004), degan mereduksi $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ dengan $NaH_2PO_2 \cdot H_2O$ dalam *ethylene glycol* dengan iradiasi gelombang mikro. Nanofluida yang stabil dan tidak menggumpal dapat dihasilkan dengan metode ini. Hasilnya juga menunjukkan bahwa penambahan $NaH_2PO_2 \cdot H_2O$ dan

adanya iradiasi gelombang mikro sangat mempengaruhi laju reaksi dan properties dari partikel nano Cu.

2.2.3.2 Metode Dua Langkah (*Two-Step Method*)

Banyak dilakukan dalam sintesa nanofluida dengan menggunakan nano powder yang banyak diproduksi industry secara komersil. Dengan metode ini, partikel nano dibuat dan dilarutkan dalam fluida dasar. Biasanya peralatan *ultrasonic* digunakan untuk mendispersikan partikel dan mengurangi penggumpalan dari partikel.

Selain Das et.al (2003) dan Putra. et.al (2002) yang telah diuraikan sebelumnya, beberapa peneliti lain juga menggunakan metode ini antara lain :

Murshed et.al (2005), menggunakan ultrasonic dismembrator yang digunakan selama 8-10 jam untuk membuat campuran yang bagus dengan fraksi volum yang berbeda dari nanopartikel TiO_2 kedalam fluida dasar (deionized water). Oleh acid dan *centyltrimethylammoniumbromide* (CTAB) digunakan untuk embuat larutan yang stabil dan terdispersi degan baik tanpa mengganggu sifat termofisika dan sifat perpindahan panas karena *surfactant* yang diakai sangat kecil(perentasi volumnya 0,01-0,02%).

Xuan et,al (2003) juga menggunakan teknik yang sama untuk menyiapkan nanofluida. Dengan metode ini nanofluida didapan dengan mencampur langsung bubuk partikel nano dengan fluida dasar yang cukup praktis prosenya larutan yang mengandung 2 sampai 5% volum partikel nano dengan fluida dasar air dan minyak . Larutan dicampur dengan menggunakan *ultrasonic vibrator* selama 10 jam.

Hong et,al (2005) menggunakan bubuk Fe nanocrystalline yang disintesa dengan proses kondensasi gas menggunakan besi carbonyl (FeCOd5) sebagai pelarut dalam aliran helium atmosfer. Nanofluida disiapkan dengan prosedur 2 langkah untuk mendispersikan nano partikel dalam ethylene glycolee. Untuk membuat cairan tersebut benar-benar larut digunakan alat ultrasonic cell disrupter. Memperoleh hasil yang paling bagus pada 0,55% volum. Dengan meletakkan dalam *ultrasonic cell disrupter* selama 50 menit sonfikasi.

Kondensasi gas memiliki kelebihan dibandingkan dengan teknik yang lain karena partikel dapat dibuat dengan keadaan yang lebih bersih dan permukaannya dapat dihindari dari pelaisan yang tidak dikehendaki. Namun, partikel yang diproduksi dengan teknik ini sering terjadi penggumpalan, dimana penggumpalan ini dapat dipecahkan menjadi klompok yang lebih kecil dengan memberikan energy dalam jumlah yang kecil.

2.2.4 Perpindahan Kalor Konveksi Nanofluida

Banyak penelitian yang telah membahas tentang konduktivitas termal pada nanofluida tetapi untuk penelitian perpindahan kalor konveksi ternyata masih sedikit dan sampai sekarang masih berlanjut. Nandy, *et.al* (2003) membahas tentang konveksi bebas pada nanofluida dalam silinder horizontal yang dipanaskan pada salah satu ujung dan ujung lainnya didinginkan. Hasil yang diperoleh menunjukkan karakter fluida yang berbeda dengan fluida pada umumnya. Dalam proses perpindahan kalor, pendidihan nanofluida juga diteliti seperti yang dilakukan Das, *et.al* (2003) pada proses *pool boiling* dalam nanofluida Al_2O_3 /air dan mengindikasikan bahwa nanopartikel mempengaruhi karakteristik proses pendidihan nanofluida. Sementara Xuan dan Quang Li (2003) juga meneliti perpindahan kalor konveksi dan karakteristik aliran dari nanofluida di dalam tabung. Peningkatan koefisien perpindahan kalor konveksi nanofuida seiring dengan laju aliran dan fraksi volume nanopartikel, sementara koefisien perpindahan kalornya lebih besar dari fluida dasarnya (air) pada laju aliran yang sama.

Kemudian Louis Gosselin, *et.al* (2004) mengkombinasikan disipasi energi dan perpindahan kalor untuk mengoptimalkan aliran pada nanofluida. Penelitian dilakukan pada lapisan aliran turbulen dan laminar, tujuannya untuk memaksimalkan perpindahan kalor yang lepas dari sebuah plat panas dengan nanofluida. Nandy, *et.al* (2004) melakukan eksperimen perpindahan kalor konveksi paksa pada nanofluida dengan partikel Al_2O_3 . Pengukuran koefisien perpindahan kalor ini menggunakan alat perpindahan kalor pipa ganda dalam susunan tipe aliran berlawanan. Hasil pengukuran menunjukkan peningkatan nilai koefisien perpindahan panas konveksi untuk nanofluida konsentrasi volume 1%

sebesar 6-10% dan konsentrasi volume 4% sebesar 7-17%. Hal ini juga pernah diprediksi oleh Nandy dan diperkuat dengan penelitian lanjutannya yang menunjukkan peningkatan koefisien perpindahan kalor sebesar 6%-8% pada konsentrasi volume 1-4% dalam kisaran temperatur 40°C-60°C.

2.2.4.1 Konveksi Paksa

Perpindahan kalor secara konveksi sangat terkait erat dengan viskositas dari fluida suspensinya. Berbicara mengenai viskositas nanofluida maka akan timbul pertanyaan. Apakah nanofluida merupakan fluida Newtonian atau yang terjadi hanyalah proses *shear thinning* tipis pada suspensinya.

Penelitian mengenai konveksi nanofluida pertama kali dilakukan oleh Park dan Choi (1998), dengan objek nanopartikelnya adalah Al_2O_3 (13nm) dan TiO_2 (27nm) hasil dari penelitian itu antara lain:

- Suspensi tersebut bersifat fluida Newtonian pada fraksi volum partikel yang sangat kecil, dan akan menunjukkan perilaku *shear thinning* (yaitu naik turunnya viskositas dengan laju gesernya) ketika fraksi volum partikelnya dinaikkan.
- Nanofluida Al_2O_3 basis air menunjukkan perilaku *shear thinning* pada volum partikel 3%, sedangkan nanofluida TiO_2 menunjukkan *shear thinning* pada volum partikel 10%.
- Kenaikan temperature menyebabkan viskositas nanofluida akan menurun.
- Meningkatnya viskositas, tentunya akan menaikkan pressure drop akibat friksi. Dengan kata lain, kenaikan koefisien perpindahan kalor nanofluida akan disertai naiknya pressure drop friksi. Sehingga perlu penambahan *pumping power* agar dapat mengatasi pressure drop yang terjadi.

- *Pumping power* dengan kecepatan aliran yang konstan menyebabkan penurunan koefisien perpindahan kalor sebanyak 12%.

Namun, Xuan dan Li (2003) mengemukakan hal yang berbeda, mereka menemukan bahwa dengan kecepatan sama yang dilakukan pada penelitian Park dan Choi (1998), *pumping power* dengan kecepatan aliran konstan sebenarnya mengakibatkan kenaikan koefisien perpindahan kalor sebanyak 40%. Mereka melihat bahwa bila fluida basisnya di desain dengan baik, maka sebenarnya kenaikan koefisien perpindahan kalor akan tercapai sesuai yang diinginkan. Pada penelitian Park dan Choi (1998), kenaikan viskositas yang besar menyebabkan turbulensi berkurang, dan pada akhirnya mengurangi heat transfer-nya. Xuan dan Li (2003) juga menyimpulkan bahwa penggunaan persamaan Dittus Boelter dengan modifikasi sesuai dengan nanofluidanya adalah tidak cukup tepat untuk menjelaskan konveksi pada nanofluida. Karena nanofluida tidak dapat dianggap sebagai fluida *single*, dan dalam nanofluida banyak efek-efek special yang terjadi seperti gravitasi, gerak Brownian, gaya Drag pada partikel, dan difusi.

Percobaan lainnya yaitu penelitian oleh Das, et al (2003) yang mengukur viskositas NP-Al₂O₃ dengan basis air. Hasilnya menunjukkan viskositas adalah besaran yang independen terhadap laju geser (*shear rate*).

Percobaan-percobaan yang telah disebutkan di atas menunjukkan bahwa banyak variasi viskositas yang terjadi dalam nanofluida.

2.2.4.2 Sifat-sifat Fisik Nanofluida

Diasumsikan bahwa nanopartikel terdispersi dengan baik di dalam fluida dasarnya, dengan konsentrasi partikel dapat dianggap seragam seluruhnya pada campuran nanopartikel dengan fluida dasarnya, sehingga sifat-sifat efektif fisik dari campuran dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang digunakan pada dua fase fluida.

Rumus-rumus yang digunakan untuk memperkirakan atau menentukan berat jenis (ρ), panas jenis (C_p), dan konduktivitas termal nanofluida dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\rho_{nf} = \phi\rho_p + (1-\phi)\rho_{bf} \quad \text{Park dan Choi (1998) (2-1)}$$

$$(Cp)_{nf} = (1-\phi)(Cp)_{br} + \phi(Cp)_p \quad \text{Park dan Choi (1998) (2-2)}$$

$$k_{nf} = k_{bf} (4,97\phi^2 + 2,72\phi + 1) \quad \text{Park dan Choi (1998) (2-3)}$$

Konduktivitas Termal Nanofluida Sebagai Fungsi Ukuran Partikel

Partikel CuO dan Al₂O₃ berukuran nanometer dicampur dengan fluida cair diantaranya air dan *ethylene glycol*. Dari hasil penelitian diperoleh peningkatan termal konduktivitas sebesar 20%. Peningkatan konduktivitas termal sekitar 60% dapat dicapai untuk nanofluida terdiri dari air dan volume 5% nanopartikel CuO *Eastman, et al* (2001) peningkatan termal konduktivitas sebesar 40% untuk penambahan 0.3% partikel Cu dalam *ethylene glycol Eastman et.el* (1997). *Xuan dan Li* (2000), menjelaskan suatu prosedur untuk menyiapkan nanofluida dengan menggunakan peralatan *hot wire* untuk mengukur konduktivitas termal nanofluida dengan nanopartikel bubuk tembaga yang tersuspensi. Pertama mereka menemukan bahwa kenaikan termal konduktivitas adalah linier dan mereka menjadikan penelitian *Hamilton-Crosser* (1962) sebagai perbandingannya. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa konduktivitas termal baik nanofluida air dan *ethylene glycol* jauh lebih besar dari yang sudah diperkirakan oleh *Hamilton-Crosser*. Kesimpulan dari eksperimen mengejutkan karena sangat jauh berbeda untuk nanofluida Al₂O₃ Untuk diingat bahwa termal konduktivita dari Al₂O₃ dan CuO tidak jauh berbeda, dan rata-rata ukuran partikel Al₂O₃ sebesar 38 nm dan CuO sebesar 24 nm. Kesimpulan yang diambil mengarahkan pada perbedaan ukuran yang terdapat antara keduanya.

Konduktivitas Termal Nanofluida Sebagai Fungsi Temperatur

Lebih lanjut *Das, et.al* (2003), melakukan pengukuran difusifitas termal dan konduktivitas termal pada nanofluida dengan partikel CuO dan Al₂O₃ sebagai bahan suspensinya sebagai fungsi temperature. Pernyataan ini menjadi titik awal pekerjaan yang menunjukkan dengan jelas tentang pernyataan *Lee, et.al* (1998), mereka menemukan kesamaan karakteristik Al₂O₃ yang dijelaskan oleh *Hamilton-Crosser* (1962), karena perbedaan besar partikel antara Al₂O₃ dan CuO memberikan dorongan kepada *Das et.el* (2003) untuk berfikir bahwa ada hubungan temperatur dengan ukuran partikel yang menyebabkan pergerakan

partikel yang menunjukkan *nanobehaviour*. Cara satu-satunya untuk menegaskan hipotesis ini yaitu dengan menggunakan temperature yang berbeda . Mereka menggunakan teknik transient temperature *oscillation* untuk menunjukkan bahwa eksperimen dilakukan dengan menggunakan partikel yang sama dengan Lee et.al (1999). Mereka menghitung konduktivitas termal pada temperature antara 21 dan 55°C.

Tabel 2.3 Sifat-sifat Fisik Nanopartikel dan Air pada Suhu 300 K

Sifat-sifat fisik	Air	Tembaga (Cu)	Perak (Ag)	Alumina (Al ₂ O ₃)	Titanium Oksida (TiO ₂)
Cp (J/kg K)	4179	385	235	765	686,2
ρ (kg/m ³)	997,1	8933	10500	3970	4250
k (W/m K)	0,613	401	429	40	8,9538

Sumber: Choi, *et.al* : 1995

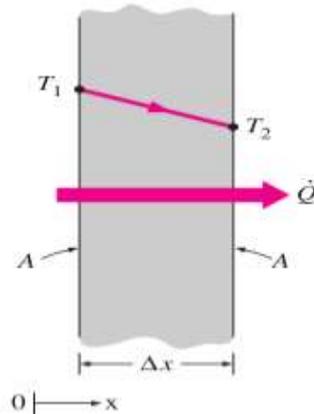
2.3 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu untuk memprediksi perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Perpindahan panas tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi panas itu berpindah dari satu benda ke benda lain, tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu (Holman, 1993). Perpindahan energi ini selalu terjadi dari suatu sistem bersuhu tinggi ke suatu sistem lain yang bersuhu lebih rendah dan akan berhenti setelah kedua sistem mencapai temperatur yang sama. Jika kedua sistem mempunyai temperatur yang sama maka tidak akan terjadi perpindahan panas pada kedua sistem tersebut. Panas dapat berpindah dengan tiga cara yang berbeda, yaitu: konduksi, konveksi, dan radiasi. Pada *heat exchanger*, perpindahan kalor terjadi secara konduksi dan konveksi.

2.3.1 Konduksi

Perpindahan kalor konduksi adalah proses perpindahan panas melalui lapis benda padat. Laju perpindahan kalor konduksi melalui medium benda padat tergantung pada geometri, ketebalan, dan material dari medium, serta tergantung

pada perbedaan temperatur yang melintasi medium tersebut. Perpindahan kalor konduksi melalui sebuah dinding dapat dilihat pada gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Perpindahan Kalor secara Konduksi pada Plat Datar
 Sumber: Cengel (2003:13)

Besarnya laju perpindahan kalor konduksi tergantung pada luas permukaan yang dilalui kalor, perbedaan temperatur, dan konduktivitas termal material. Namun berbanding terbalik terhadap ketebalan dari permukaan yang dilalui oleh kalor sehingga dapat dinyatakan:

$$Q_{\text{cond}} = -kA \frac{\delta T}{\delta x} \quad \text{Holman (1993) (2-4)}$$

Dengan:

- Q_{cond} = Laju perpindahan panas konduksi (W)
- k = Konduktivitas termal bahan (W/m °C)
- A = Luas permukaan perpindahan kalor (m²)
- δT = Perbedaan temperatur permukaan perpindahan kalor (°C)
- δx = Ketebalan permukaan perpindahan panas pada arah x (m)

Konduktivitas termal merupakan suatu konstanta proporsional yang menyatakan kemampuan suatu material untuk menghantarkan kalor yang dapat dihantarkan oleh setiap unit tebal dari material per unit area per unit perbedaan temperatur.

2.3.2 Konveksi

Perpindahan kalor konveksi adalah pengangkutan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses perpindahan panas secara konveksi merupakan satu



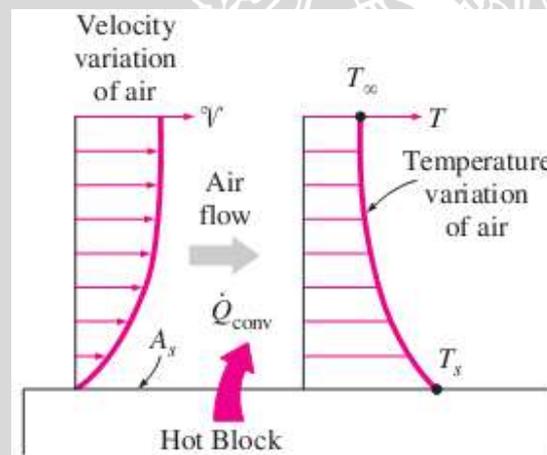
fenomena permukaan. Proses konveksi hanya terjadi dipermukaan bahan, jadi dalam proses ini struktur bagian dalam bahan kurang penting (Masyithah dan Haryanto, 2006). Perpindahan kalor konveksi merupakan proses perpindahan kalor melalui lapis fluida. Semakin cepat gerakan fluida akan menyebabkan semakin besar pula perpindahan kalor konveksinya. Secara umum, perpindahan kalor konveksi dapat dibedakan menjadi 2 yaitu:

1. Konveksi bebas (*free convection*)

Pada konveksi bebas gerakan perpindahan fluida terjadi karena adanya perbedaan densitas atau kerapatan fluida yang disebabkan oleh adanya perbedaan atau gradien temperatur, proses ini terjadi secara alamiah sehingga sering disebut konveksi alamiah (*natural convection*).

2. Konveksi paksa (*forced convection*)

Pada konveksi paksa fluida dipaksa bergerak oleh adanya gaya atau energi dari luar, misalnya oleh kipas, transfer kalor yang dihasilkan akan lebih tinggi dari konveksi bebas seperti gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Perpindahan Kalor secara Konveksi
Sumber : Cengel (2003:26)

Berdasarkan hukum pendinginan Newton, besarnya laju perpindahan kalor konveksi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Q_{conv} = h A (T_s - T_\infty) \quad \text{Holman (1993) (2-5)}$$

Dengan:

Q_{conv} = Laju perpindahan kalor konveksi (W)

h = Koefisien perpindahan kalor konveksi ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

A = Luas permukaan perpindahan kalor (m^2)

T_s = Temperatur permukaan benda ($^{\circ}C$)

T_{∞} = Temperatur fluida pada jarak tertentu dari permukaan benda ($^{\circ}C$)

2.3.2.1 Angka Prandtl

Perbandingan antara viskositas kinematik fluida dan difusivitas termal dapat dideskripsikan oleh parameter tak berdimensi yaitu angka Prandtl. Viskositas kinematik fluida merupakan informasi tentang laju difusi momentum dalam fluida karena gesekan molekul. Sedangkan difusivitas termal merupakan petunjuk tentang difusi kalor dalam fluida. Jadi, perbandingan antara kedua hal tersebut menunjukkan besaran relatif antara difusi momentum dan difusi kalor dalam fluida.

Kedua laju difusi ini akan menentukan berapa tebal lapisan batas termal pada suatu medan aliran tertentu. Sehingga angka Prandtl merupakan penghubung antara medan kecepatan dan medan suhu yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Pr = \frac{\text{difusivitas momentum}}{\text{difusivitas termal}} = \frac{v}{a} = \frac{\mu/\rho}{k/Cp \cdot \rho} = \frac{\mu Cp}{k} \quad \text{Incropera (1996) (2-6)}$$

Dengan:

a = difusivitas termal fluida (m^2/s)

Cp = kalor spesifik fluida ($J/kg \cdot K$)

k = konduktivitas termal fluida ($W/m \cdot K$)

μ = viskositas dinamik fluida ($kg/m \cdot s$)

ν = viskositas kinematik fluida (m^2/s)

2.3.2.2 Angka Reynolds

Fluida yang mengalir memiliki suatu pola aliran. Pola aliran tersebut adalah pola laminar yang bergerak secara teratur dan pola turbulen yang bergerak tidak teratur dan acak. Proses perubahan dari aliran laminar ke aliran turbulen dipengaruhi oleh geometri, kekasaran, kecepatan, temperatur permukaan dan tipe fluida yang mengalir .

Untuk menentukan jenis aliran maupun tingkat turbulensinya, dapat dilihat dari besarnya perbandingan antara gaya inersia (*inertia force*) dengan gaya viskos

(*viscous force*) pada fluida. Perbandingan ini disebut dengan bilangan Reynolds yang juga merupakan parameter tanpa dimensi, dimana untuk aliran eksternal dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya viskos}} && \text{Holman (1993) (2-7)} \\ &= \frac{\rho V^2 / \delta}{\mu V / \delta^2} \\ &= \frac{\rho V \delta}{\mu} \\ &= \frac{V \delta}{\nu} \end{aligned}$$

Dengan :

V = kecepatan aliran bebas (m/s)

δ = panjang karakteristik dari geometris (m)

$\nu = \mu/\rho =$ viskositas kinematik fluida (m²/s)

Angka Reynolds aliran menjadi turbulen disebut dengan angka Reynolds kritis. Besarnya angka Reynolds kritis berbeda tergantung pada bentuk geometri aliran. Berdasarkan kebanyakan kondisi percobaan, aliran dalam pipa merupakan aliran laminar pada $\text{Re} < 2300$, turbulen pada $\text{Re} > 10000$, dan transisi pada $2300 < \text{Re} < 10000$.

Pada bilangan Reynolds yang besar, gaya inersia jauh lebih besar dibandingkan dengan gaya viskos-nya, sehingga gaya viskos ini tidak mampu menahan gerakan acak dan fluktuasi aliran yang cepat, dengan demikian terjadi aliran turbulen. Sedangkan pada bilangan Reynolds rendah, gaya viskos mampu menahan fluktuasi aliran sehingga tetap terjaga dalam bentuk berlapis-lapis pada arahnya masing-masing atau laminar.

Untuk pipa pelat atau persegi panjang dapat dilakukan pendekatan dengan mengingat bahwa diameter hidrolis adalah empat kali rasio antara luas penampang yang dialiri fluida dengan perimeter basahnya atau dalam hal ini diasumsikan sebagai keliling penampangnya, sehingga diameter hidrolis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$D_h = \frac{4(p \cdot l)}{2(p+l)} \quad \text{Incropera (1996) (2-8)}$$

Dengan :

p = panjang (m)

l = lebar (m)

2.3.2.3 Angka Nusselt

Perpindahan panas melalui lapisan fluida akan terjadi secara konveksi ketika lapisan fluida tersebut bergerak dan akan terjadi secara konduksi ketika lapisan fluida tidak bergerak. Angka Nusselt menunjukkan besar perpindahan panas melalui proses konveksi terhadap besar perpindahan panas melalui proses konduksi pada lapisan fluida yang sama (Cengel, 2003:351). Semakin besar angka Nusselt maka perpindahan panas konveksi akan semakin efektif, angka Nusselt (Nu) = 1 untuk setiap lapisan fluida menunjukkan bahwa perpindahan panas yang terjadi melewati lapisan tersebut murni melalui proses konduksi. Laju perpindahan panas tiap waktu tiap unit luas pada proses konveksi dan konduksi adalah sebagai berikut:

$$q_{\text{conv}} = h \Delta T \quad \text{Holman (1993)} \quad (2-9)$$

$$q_{\text{cond}} = k \frac{\Delta T}{\delta} \quad \text{Holman (1993)} \quad (2-10)$$

Sehingga rasionya menjadi:

$$\frac{q_{\text{conv}}}{q_{\text{cond}}} = \frac{h \Delta T}{k \frac{\Delta T}{\delta}} = \frac{h\delta}{k} = Nu \quad \text{Holman (1993)} \quad (2-11)$$

Hubungan antara bilangan reynolds dan bilangan nusselt menurut Cengel (1998) dituliskan sebagai berikut:

$$Nu = \frac{hL}{k} = C Re_L^m Pr^n \quad (2-12)$$

C , m dan n merupakan konstanta yang diperoleh dari hasil eksperimen dan nilainya berbeda pada tiap-tiap kasus. Dengan demikian berdasarkan dua rumusan diatas, tampak bahwa dengan meningkatnya bilangan Reynolds akan memperbesar bilangan Nusselt yang mengakibatkan perpindahan kalor konveksi semakin efektif.

2.4 Heat Exchanger

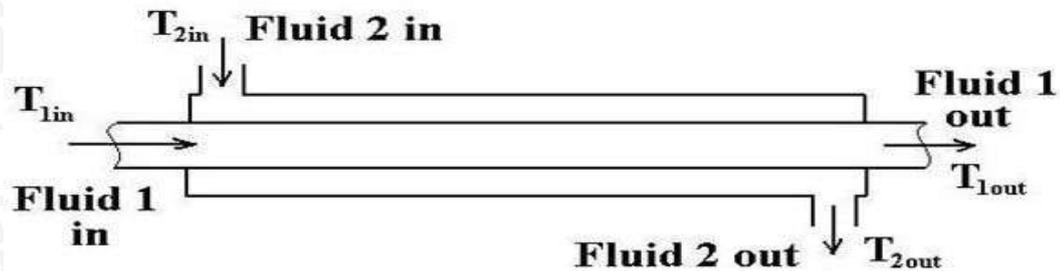
Alat penukar panas (*heat exchanger*) adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas antara dua buah fluida yang mempunyai temperatur berbeda (Cengel, 2003 : 667). Alat penukar panas diklasifikasikan berdasarkan arah aliran dan tipe konstruksinya. Berdasarkan arah aliran, *heat exchanger* dibedakan menjadi tiga, yaitu: aliran searah (*paralel flow*), aliran berlawanan (*counter flow*), dan aliran bersilang (*cross flow*). Sedangkan berdasarkan tipe konstruksinya alat penukar panas yang umum digunakan adalah tipe *consentric double tube, shell and tube, compact heat exchanger*. Pada skripsi ini jenis aliran *heat exchanger* yang digunakan adalah jenis *paralel flow* dengan kontruksi tipe *consentric double tube*.

2.4.1 Jenis Aliran *Paralel Flow* Dengan *Double Pipe Heat Exchanger*

Pada alat penukar kalor dengan tipe aliran searah (*paralel flow*), dua jenis fluida kerja yang mengalir dalam arah yang sama. Tipe ini merupakan salah satu jenis alat penukar kalor yang menggunakan satu pipa penukar panas didalam pipa dingin. Dalam desain pipa panas penukar ganda, faktor pentingnya adalah jenis pola aliran dalam penukar panas. Sebuah penukar panas pipa ganda baik digunakan untuk pola aliran *paralel flow* maupun *counter flow*. Pola aliran *cross flow* tidak cocok digunakan pada *heat exchanger* jenis ini, karena jika ditinjau dari kontruksinya dinding pipa luar diisolasi agar tidak terjadi perpindahan kalor secara melintang. Untuk mengetahui perhitungan kalor yang dapat dipindahkan oleh *heat xchanger* jenis ini dapat dengan menggunakan metode LMTD (*Log Mean Temperatur Difference*).

Double pipe heat exchanger dengan *paralel flow* merupakan jenis alat penukar kalor yang paling sederhana, dimana terdapat pipa penukar kalor didalam pipa lain yang lebih besar. Salah satu cairan mengalir melalui pipa di dalam dan aliran lain melalui annulus antara kedua pipa. Dinding pipa merupakan perantara pertukaran panas antara dua fluida yang memiliki perbedaan temperatur. Keuntungan yang didapat dari alat penukar kalor jenis ini memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi karena geometri alat penukar kalor ini dapat divariasikan dengan mudah hanya dengan mengubah panjang pipa, diameter pipa dan juga

cara penyusunannya. Gambar double pipe heat exchanger parallel flow dapat dilihat seperti gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3 *Double Pipe Heat Exchanger dengan Aliran Paralel Flow*
Sumber: <http://www.brighthubengineering.com/hvac/64548-double-pipe-heat-exchanger-design/>

2.4.2 Analisa Alat Penukar Kalor

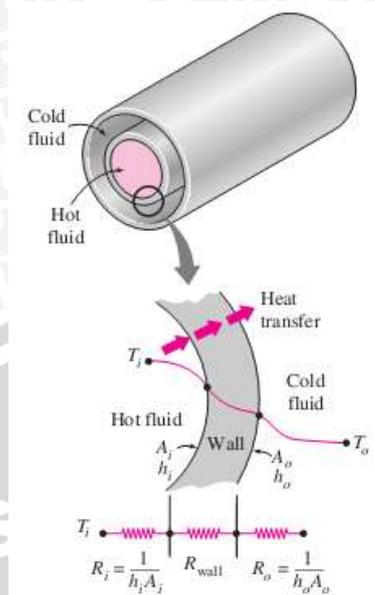
Dalam menentukan besarnya kalor yang dipindahkan oleh alat penukar kalor, dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad \text{Holman (1993) (2-13)}$$

Dengan :

- \dot{Q} = laju perpindahan kalor (W)
- U = koefisien perpindahan kalor keseluruhan ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}$)
- A = luas permukaan perpindahan kalor (m^2)
- ΔT = perbedaan temperatur keseluruhan ($^\circ\text{C}$)

Pada alat penukar kalor jenis pipa ganda terdapat dua fluida yang memiliki temperatur berbeda yang dibatasi oleh dinding pipa dalam sehingga untuk melakukan perpindahan kalor dari fluida panas ke fluida dingin, maka hambatan termal dari pipa ganda tersebut dapat diilustrasikan dengan gambar 2.4 sebagai berikut:



Gambar 2.4 Hambatan Termal pada Alat Penukar Kalor Jenis Pipa Ganda
 Sumber: Cengel (2003:672)

Dalam transfer kalor pada alat penukar kalor jenis pipa ganda terjadi tiga tahapan dalam proses perpindahan kalor yaitu proses perpindahan kalor konveksi (antara fluida dengan permukaan dinding bagian dalam pipa), perpindahan kalor konduksi (dari permukaan dinding dalam hingga permukaan dinding luar dari pipa dalam), dan juga proses perpindahan kalor konveksi (antara fluida pendingin yang terdapat pada luar dari pipa dalam tetapi masih dalam satu pipa).

Perbedaan temperatur pada alat penukar kalor tidak dapat ditentukan dengan mudah sehingga ada beberapa analisa yang dapat digunakan untuk mempermudah menentukan laju perpindahan kalor pada alat penukar kalor.

2.4.2.1 LMTD (*Log Mean Temperatur Difference*)

Dengan menggunakan analisa ini perbedaan temperatur pada alat penukar kalor dapat ditentukan. Sehingga laju perpindahan kalor pada alat penukar kalor adalah sebagai berikut:

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm} \quad \text{Holman (1993) (2-14)}$$

Dengan : $\Delta T_{lm} = \text{Log Mean Temperatur Difference}$



Dalam menentukan ΔT_{lm} (*log mean temperatur difference*) dari alat penukar kalor tergantung pada jenis alat penukar kalor. Adapun rumus untuk alat penukar kalor aliran searah adalah sebagai berikut:

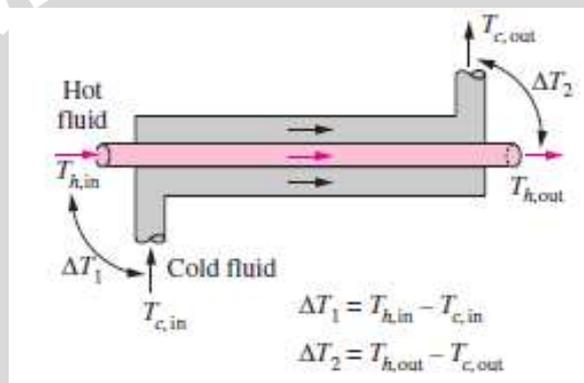
$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h1} - T_{c1}) - (T_{h2} - T_{c2})}{\ln (T_{h1} - T_{c1}) / (T_{h2} - T_{c2})} \quad \text{Incropera (1996) (2-15)}$$

Dengan :

T_{h1} dan T_{h2} = temperatur fluida panas masuk dan keluar ($^{\circ}\text{C}$)

T_{c1} dan T_{c2} = temperatur fluida dingin dan keluar ($^{\circ}\text{C}$)

Persamaan dari ΔT_1 dan ΔT_2 pada alat penukar kalor aliran searah dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2.5 Persamaan ΔT_1 dan ΔT_2 pada alat penukar kalor aliran searah
Sumber: Cengel (2003:701)

2.5 Fluida Pendingin

Sebelumnya perlu diketahui bahwa fluida adalah suatu zat yang akan mengalir atau mengalami deformasi secara berkelanjutan apabila dikenai gaya geser sekecil apapun. Dalam memindahkan kalor, fluida pendingin mempunyai *properties* yang sangat menentukan.

Fluida pendingin adalah fluida yang digunakan sebagai medium perpindahan energi kalor pada suatu siklus sehingga didapatkan temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan suhu awal sebelum dilakukan pendinginan. Selain sebagai medium perpindahan energi, fluida pendingin harus memberikan pengaruh terhadap parameter yang telah ditentukan. Dalam skripsi ini fluida pendingin yang

digunakan adalah campuran antara air dengan nanopartikel (Alumina) atau disebut dengan nanopartikel.

2.6 Hipotesa

Dengan perbedaan prosentase dari nanopartikel sebagai fluida pendingin, berpengaruh terhadap karakteristik fluida pendingin tersebut. Sehingga semakin besar prosentase nanopartikel hal ini dapat meningkatkan laju perpindahan kalor dan koefisien perpindahan panas menyeluruh dari fluida pendingin tersebut.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen guna mendapatkan data empiris yang secara langsung digunakan ke obyek yang akan diteliti. Obyek tersebut akan di ambil datanya pada tahapan-tahapan tertentu yang akan menghasilkan beberapa data yang bisa dibandingkan. Dalam penelitian ini digunakan nanofluida dengan nanopartikel Al_2O_3 sebagai media pendingin dengan menggunakan alat penukar kalor *heat exchanger paralel flow*. Prosentase nanopartikel yang dipakai adalah sebesar 0.15%, 0.25%, dan 0.5%. Pengukuran dilakukan untuk menentukan nilai koefisien perpindahan panas konveksi nanofluida sebagai fungsi bilangan Nusselt dan laju perpindahan panas yang dibandingkan dengan fluida dasarnya (air). Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 1 November 2012 sampai 27 Maret 2013 di Laboratorium Motor Bakar, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah :

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti harganya dapat diubah-ubah dengan metode tertentu untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian, sehingga dapat diperoleh hubungan antara keduanya. Variabel bebasnya adalah prosentase massa nanopartikel dan debit fluida panas.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikatnya adalah laju perpindahan panas dan koefisien perpindahan panas menyeluruh.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan oleh peneliti dan dikondisikan konstan. Dalam penelitian ini variabel terkontrolnya adalah temperatur permukaan pipa luar (T_s), debit dan temperatur masuk fluida dingin dan temperatur masuk fluida panas.

3.3 Bahan Yang Digunakan Dalam Penelitian

Dalam penelitian bahan yang digunakan adalah fluida air untuk fluida dingin dan nanofluida sebagai fluida panas. Spesifikasi fluida yang digunakan adalah :

1. Fluida dingin yang mengalir dalam heat exchanger adalah air yang diambil langsung dari sumber air.
2. Fluida panas yang digunakan adalah pencampuran nanopartikel Al_2O_3 dengan air (*nanofluida*).

3.4 Persiapan Nanofluida

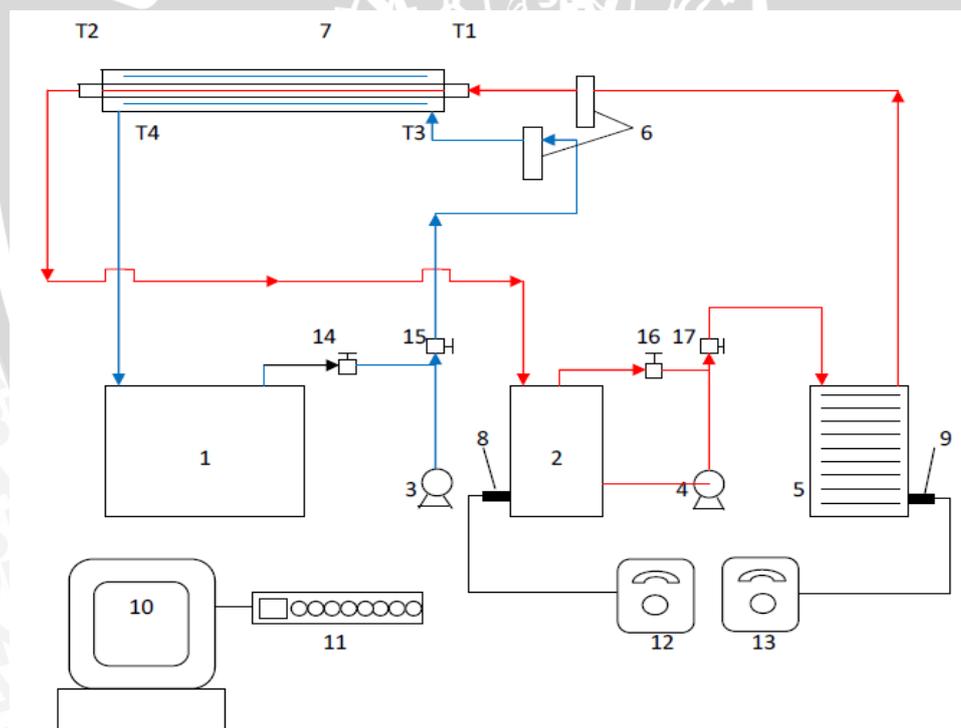
Proses persiapan nanofluida harus menjamin terdispersinya nanopartikel dengan baik dalam. Akibat dari pencampuran nanopartikel ke dalam fluida dasar, maka akan terbentuk karakteristik baru pada fluida yang dihasilkan. Karakteristik yang terbentuk tergantung pada konsentrasi dari partikel yang tercampur. Para peneliti sebelumnya melakukan penelitian dengan melakukan variasi konsentrasi volume dari partikel dengan perlakuan yang berbeda-beda, tergantung proses yang digunakan. Untuk mencari hasil yang lebih baik, peneliti sebelumnya menggunakan *ultrasonic vibration* yang menjamin dihasilkan campuran nanopartikel terdispersi dengan baik. Dalam persiapan nanofluida perlu diperhatikan densitas dari nanopartikel untuk mendapatkan perbandingan campuran yang tepat. Pada penelitian ini, penulis menggunakan prosentase massa sebesar 0,15%, 0,25% dan 0,5% nanopartikel Al_2O_3 dengan ukuran ± 20 nm. Volume partikel ditentukan dengan menggunakan densitas sebenarnya dari nanopartikel dan massanya dengan mengabaikan massa udara yang terperangkap di dalamnya. Pencampuran nanopartikel ke dalam fluida dasar mengakibatkan pembentukan karakteristik baru terhadap fluida yang dihasilkan yaitu nanofluida.

Karakteristik yang terbentuk tergantung dengan fraksi volume dari partikel yang dicampurkan.

Karena keterbatasan alat modern seperti *ultrasonic vibrator* maka untuk pencampuran nanofluida penulis menggunakan alat pengaduk sederhana dengan batang bersirip yang diputar oleh bantuan motor listrik. Setelah menentukan nilai perbandingan campuran dengan menggunakan densitas dari nanopartikel dan air. Kemudian dicampur dengan alat tersebut hingga partikel tersuspensi merata. Ini dapat dilihat dengan tidak adanya endapan yang terbentuk setelah campuran dibiarkan selama satu malam. Pada penelitian ini proses pencampuran dengan pengaduk sederhana dilakukan selama ± 10 menit.

3.5 Skema Instalasi Alat Penelitian

Susunan instalasi pengujian yang digunakan terdapat pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Susunan Instalasi Pengujian

Keterangan gambar di atas :

1. Tangki fluida air dingin
2. Tangki utama nanopartikel Al_2O_3 dengan suhu fluida panas 40°C

3. Pompa fluida air dingin
4. Pompa fluida nanopartikel Al_2O_3
5. Tangki preheater fluida nanopartikel Al_2O_3
6. Flowmeter
7. Alat penukar kalor double pipe
8. Heater 1
9. Heater 2
10. Komputer
11. Data logger
12. Thermocontroller tangki panas 1
13. Thermocontroller tangki panas 2
14. Katup pembuangan fluida dingin
15. Katup debit fluida dingin
16. Katup pembuangan fluida panas
17. Katup debit fluida panas

3.6 Alat-alat Yang Digunakan Penelitian

1. Unit Model *Heat Exchanger Double Pipe* dengan aliran *Paralel Flow*

Gambar *Heat Exchanger Double Pipe* dengan aliran *Paralel Flow* dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Heat Exchanger

2. Pompa Air

Digunakan untuk mensirkulasikan air panas yang akan didinginkan. Pompa yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah dua dan berfungsi untuk memompa fluida panas dan fluida dingin. Pompa tersebut dapat dilihat pada gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3.3 Pompa Air

Spesifikasi:

Merk	: Efos	Daya	: 250 Watt
Model	: DB – 125B	V/Hz	: 220/50
Kapasitas	: 30 liter/menit	Putaran	: 2850 rpm
<i>Suction head</i>	: 9 meter	Buatan	: Indonesia
<i>Discharge head</i>	: 24 meter		

3. Komputer untuk mengambil data

Komputer untuk mengambil data tersebut dapat dilihat pada gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4 Komputer

4. Heater

Pemanas (*heater*) digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi panas yang ditempatkan dalam air didalam reservoir pemanas agar air berada pada temperatur yang dikehendaki. Heater tersebut dapat dilihat pada gambar 3.5 di bawah ini.

Spesifikasi alat adalah sebagai berikut:

Daya	: 300 Watt
Tegangan	: 220 V
Jumlah	: 2 buah



Gambar 3.5 Heater

5. Termokopel tipe K

Merupakan sensor yang digunakan untuk mengubah suatu besaran fisik berupa temperatur menjadi bentuk listrik berupa beda potensial, termokopel yang digunakan adalah tipe K. Termokopel tipe K tersebut dapat dilihat pada gambar 3.6 di bawah ini.



Gambar 3.6 Termokopel

6. Rubber Insulation

Digunakan untuk mengisolasi pipa luar agar tidak terjadi perpindahan kalor ke lingkungan. Rubber Insulation tersebut dapat dilihat pada gambar 3.7 di bawah ini.



Gambar 3.7 Rubber Insulation

7. Thermocontroller

Alat ini berfungsi untuk menjaga temperatur air panas tetap konstan pada temperatur yang diinginkan. *Thermocontroller* tersebut dapat dilihat pada gambar 3.8 di bawah ini.



Gambar 3.8 Thermocontroller

Spesifikasi:

Merk	: T & W electric heating & equipment Corp. China
Tipe	: IL-70
Suhu kisaran	: 0°C – 400°C
Tegangan	: 110/220 V
Frekuensi	: 50/60 Hz
Ketelitian	: ± 1°C
Input thermocouple	: 1 channel type K

3.7 Prosedur Penelitian

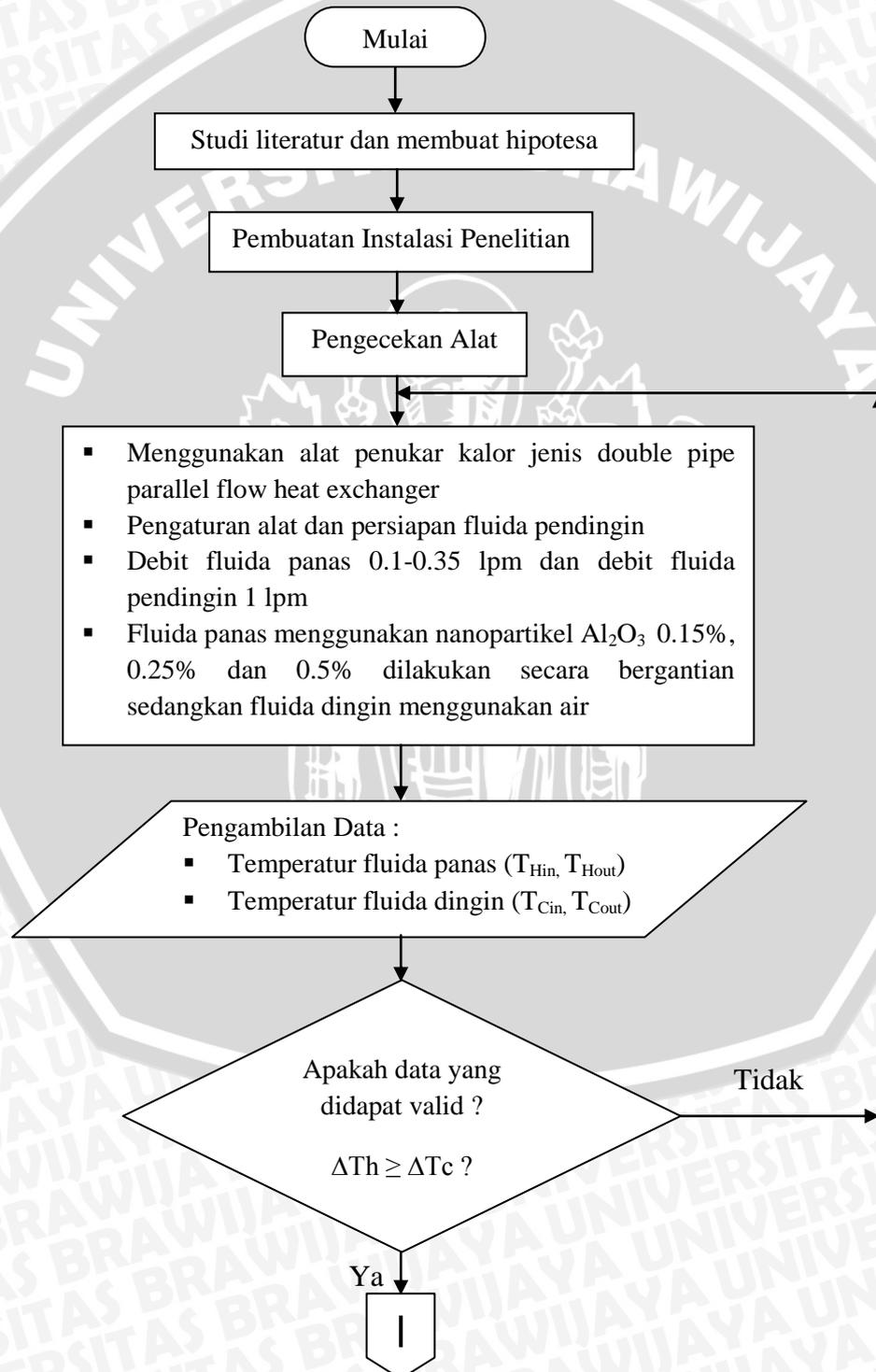
Langkah-langkah pengambilan data dalam penelitian ini:

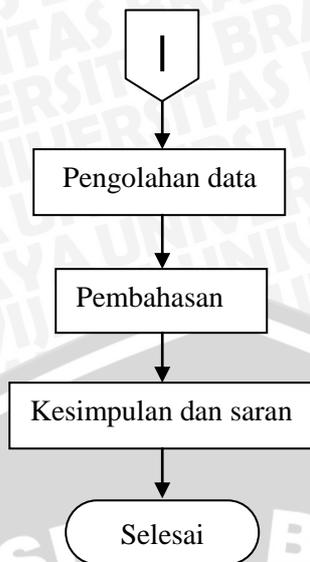
1. Persiapan nanofluida meliputi pencampuran nanopartikel dengan fluida dasar air murni dengan masing-masing prosentase yang sudah ditentukan yaitu 0.15%, 0.25% dan 0.5%
2. Persiapan alat-alat yang dibutuhkan dan disusun sesuai dengan gambar instalasi penelitian.
3. Mengatur bukaan katup inlet radiator kemudian mengukur debit aliran yang air telah ditentukan.
4. Mencoba alat yang digunakan untuk memastikan sudah bekerja dengan baik dan tidak ada kebocoran atau gangguan.
5. Menyalakan pompa air pada kondisi operasinya.
6. Menyalakan heater sampai suhu air merata yang ditandai dengan termometer air panas menunjukkan harga tetap.
7. Kemudian mengambil data pada saat temperatur T₀ telah stabil.
8. Mengulang langkah 2-6 dengan berbagai variasi debit aliran yang telah ditentukan.
9. Menghentikan operasi alat.

10. Mengulang langkah 2-8 untuk pengujian berbagai variasi kadar nano partikel 0,15%, 0,25%, dan 0,5%

11. Menarik kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

3.8 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian

(Terlampir)

4.1.2 Contoh Perhitungan Data

Parameter-parameter yang diketahui pada pengujian heat exchanger adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil pengukuran nanofluida 0.25% dengan temperature masuk 40°C.

Th _{in} (Nanopartikel Al ₂ O ₃)	Th _{out} (Nanopartikel Al ₂ O ₃)	Tc _{in} (Air)	Tc _{out} (Air)
40	33.79	25.6	27.65
40	35.23	25.6	27.86
40	36.24	25.6	28.26
40	36.59	25.6	28.47
40	36.82	25.6	28.86
40	37.21	25.6	29.24

Tabel 4.2 Spesifikasi Heat Exchanger

Diameter luar	38,5 mm
Diameter dalam	4,9 mm
Panjang pipa	1,1 m

Dari parameter-parameter yang diketahui di atas, maka dapat dilakukan perhitungan unjuk kerja sebagai berikut:

Menghitung *Fluid Properties* Nanofluida

1. Massa jenis (ρ_{nf}) dihitung dengan menggunakan rumus

$$\begin{aligned}
 \rho_{nf} &= \varphi\rho_p + (1 - \varphi)\rho_{bf} \\
 &= 0.0025 \cdot 3970 + (1 - 0.0025)1008.2 \\
 &= 9.925 + (0.9975)1008.2 \\
 &= 1015.6045 \text{ (kg/m}^3\text{)}
 \end{aligned}$$

2. Kalor Jenis ($C_{p_{nf}}$) dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} C_{p_{nf}} &= \frac{\varphi(Cp \cdot \rho)_p + (1 - \varphi)(Cp \cdot \rho)_{bf}}{\rho_{nf}} \\ &= \frac{0.0025(765 \cdot 3970) + (1 - 0.0025)(4178.6 \cdot 1008.2)}{1015.6045} \\ &= \frac{7592 + 4202332.359}{1015.6045} \\ &= 4145.239962 \text{ (J/kg.K)} \end{aligned}$$

3. Konduktivitas termal (k_{nf}) dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} k_{nf} &= k_{bf}(4.97\varphi^2 + 2.72\varphi + 1) \\ &= 0.6316(4.97 \cdot 0.0025^2 + 2.72 \cdot 0.0025 + 1) \\ &= 0.6359 \text{ W/m.K} \end{aligned}$$

4. Viskositas (μ_{nf}) dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \mu_{nf} &= \mu_{bf}(123\varphi^2 + 7.3\varphi + 1) \\ &= 0.006566(4.97 \cdot 0.0025^2 + 7.3 \cdot 0.0025 + 1) \\ &= 6.81E - 04 \text{ N.s/m}^2 \end{aligned}$$

Menghitung Laju Perpindahan Panas

$$\begin{aligned} Q &= \dot{m} \times C_{p_{nf}} \times \Delta T \\ &= 0.001693 \cdot 3921.420(40 - 33.79) \\ &= 43.5727 \text{ J/s} \end{aligned}$$

Menghitung Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

1. Laju aliran massa nanofluida

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \rho_{nf} A v \\ &= 1015.6045 \cdot 1.88479E - 05 \cdot 1.1 \\ &= 0.001693 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

2. Koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

$$\begin{aligned} A &= \pi D L \\ &= 3.14 \cdot 0.0049 \cdot 1.1 \\ &= 0.01692 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_{LMTD} &= \frac{(T_{h,1} - T_{c,1}) - (T_{h,2} - T_{c,2})}{\ln[(T_{h,1} - T_{c,1})/(T_{h,2} - T_{c,2})]} \\ &= \frac{(40 - 25.6) - (33.79 - 27.65)}{\ln[(40 - 25.6)/(33.79 - 27.65)]} \end{aligned}$$

$$= 9.69 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U = \frac{Q}{A \cdot \Delta T t l m d}$$

$$= \frac{43.5727}{0.001692 \cdot 9.69}$$

$$= 265.6815 \text{ W/m}^2\text{K}$$

3. Bilangan Reynolds (Re)

$$R_e = \frac{\rho_{nf} v D}{\mu_{nf}}$$

$$= \frac{1015.6045 \cdot 0.088427 \cdot 0.0049}{6.81E - 04}$$

$$= 646.12$$

4. Bilangan Prandtl (Pr)

$$P_r = \frac{C_{p_{nf}} \mu_{nf}}{k_{nf}}$$

$$= \frac{4145.2399 \cdot 6.81E - 04}{0.6359}$$

$$= 4.361$$

5. Bilangan Nusselt (Nu)

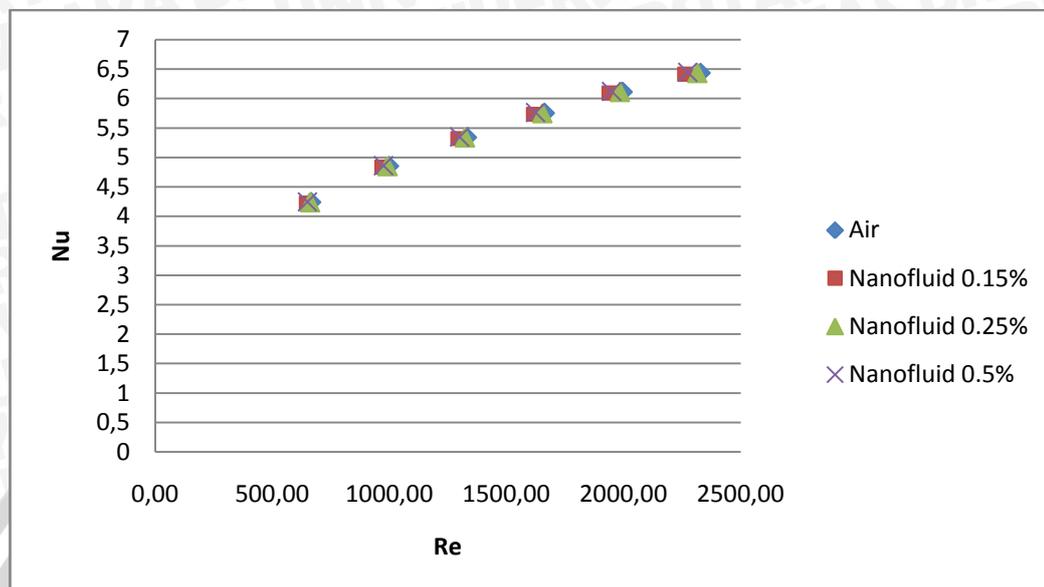
$$Nu = 1.86 (Re \cdot Pr)^{\frac{1}{3}} \left[\frac{d}{L} \right]^{1/3} \cdot \left[\frac{\mu}{\mu_w} \right]^{0.14}$$

$$Nu = 1.86 (646.12 \cdot 4.361)^{\frac{1}{3}} \left[\frac{0.0049}{1.1} \right]^{1/3} \cdot \left[\frac{6.81 \cdot 10^{-4}}{0.0008034} \right]^{0.14}$$

$$= 4.22381$$

4.2 Pembahasan Grafik

4.2.1 Grafik Hubungan Bilangan Reynoldt terhadap Bilangan Nusselt



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Bilangan Reynoldt terhadap Bilangan Nusselt

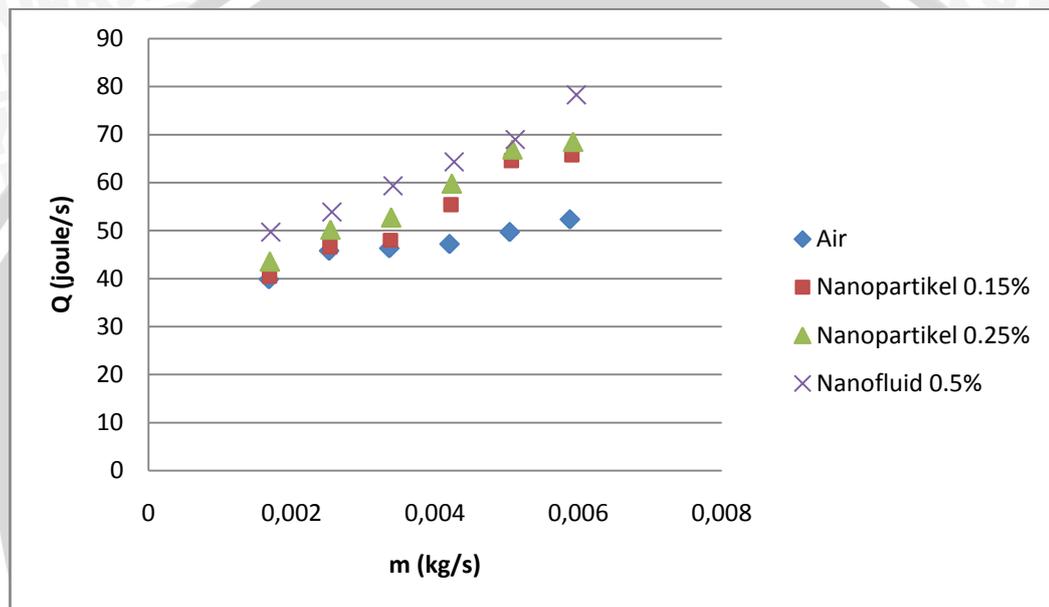
Dari gambar 4.1 grafik hubungan bilangan Reynoldt terhadap bilangan Nusselt dengan penggunaan fluida kerja yang berbeda dapat diketahui kecenderungan karakteristik grafik yang sama. Peningkatan bilangan Reynolds diakibatkan oleh peningkatan kecepatan fluida yang mengalir di dalam tabung heat exchanger sehingga perpindahan panas konveksinya semakin besar. Besarnya bilangan reynolt juga mengakibatkan perpindahan panas konduksi pada dinding tabung heat exchanger semakin kecil. Pada jenis prosentase fluida kerja yang berbeda juga menghasilkan bilangan Nusselt dan reynoldt pada temperature masuk 40°C berturut-turut dari yang paling rendah sampai nilai yang paling tinggi adalah fluida kerja nanopartikel 0.15%, 0.25%, 0.5% dan air. Pada suhu yang sama, penurunan bilangan Reynolds terhadap air sekitar 0.5-2.3% dan peningkatan bilangan Prandtl sekitar 0.1-1.2%.

Jika dianalisa pada grafik dapat dilihat bahwa semakin besar prosentase volume nanopartikel maka nilai koefisien perpindahan kalor konveksi dan konduksi didalam tabung heat exchanger cenderung tidak mengalami perubahan untuk temperatur 40°C, dikarenakan jumlah prosentase volume nanopartikel yang

juga sedikit sehingga prosentase nanopartikel sangat berpengaruh dalam peningkatan koefisien konveksi dan konduksi pada tabung.

Dari gambar grafik 4.1 dapat disimpulkan bahwa dengan menambahkan nanopartikel mengakibatkan penurunan bilangan reynoldt sehingga bilangan nusselt menurun dikarenakan dengan penambahan nanopartikel yang diiringi oleh meningkatnya viskositas nanofluida

4.2.2 Grafik Pengaruh Laju Alir Massa Terhadap Laju Perpindahan Kalor



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Laju Alir Massa Terhadap Laju Perpindahan Kalor

Pada gambar 4.2 grafik pengaruh laju aliran massa terhadap laju perpindahan kalor dapat diketahui kecenderungan grafik laju perpindahan kalor mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya laju alir massa. Perbedaan jenis fluida kerja yang digunakan mempengaruhi nilai dari laju perpindahan kalor yang dihasilkan pada temperatur fluida kerja yang sama. Pada grafik diatas terlihat bahwa pada temperatur yang sama dengan penggunaan fluida kerja berbeda terdapat nilai laju perpindahan kalor yang berbeda, hal ini dikarenakan pada masing-masing variasi prosentase nanopartikel terdapat nilai kalor jenis yang berbeda dimana semakin tinggi prosentase nanopartikel fluida panas maka kalor jenis yang dihasilkan akan semakin rendah.

Pada gambar 4.2 juga menunjukkan laju perpindahan panas yang meningkat seiring dengan laju alir massa. Laju perpindahan panas dari yang terendah adalah air, nanofluida 0.15%, nanofluida 0.25%, dan nanofluida 0.5%. Hasil yang diperoleh menunjukkan peningkatan dibandingkan fluida dasarnya 1-17% untuk prosentase massa nanopartikel 0.15%, 9-30% untuk prosentase massa nanopartikel 0.25% dan 24-49% untuk prosentase massa 0.5%.

Pada nilai prosentase nanopartikel yang berbeda juga akan menghasilkan massa jenis yang berbeda pada temperatur yang sama. Adanya perbedaan massa jenis akan mempengaruhi besarnya laju alir massa. Hal ini sesuai dengan rumus:

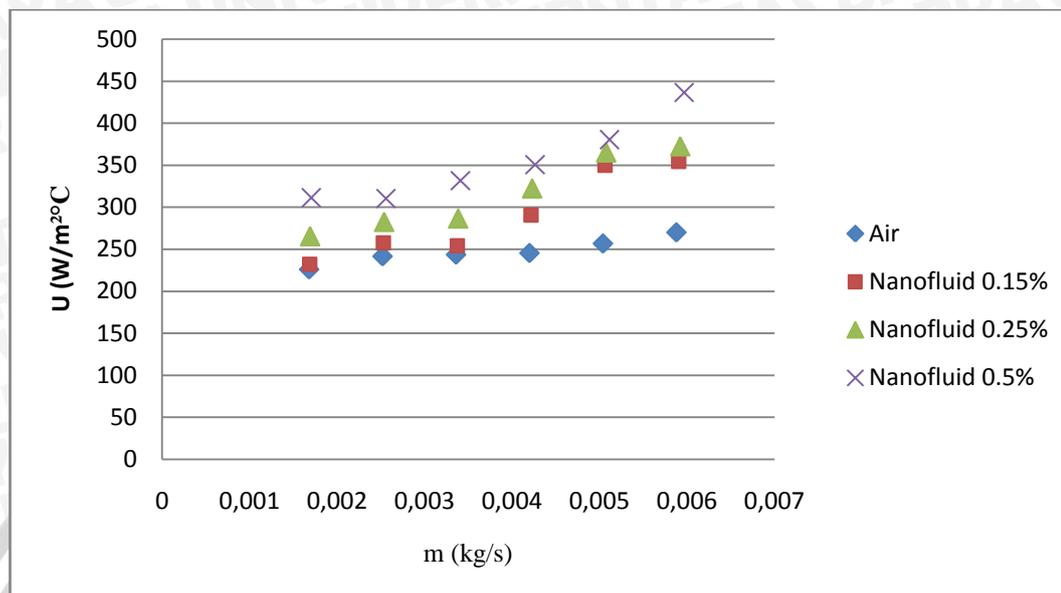
$$\dot{m} = \rho_{nf} \cdot A \cdot v$$

Sehingga dari masing-masing fluida kerja akan mempengaruhi kemampuan dalam hal transfer kalor, jadi semakin besar transfer kalor yang terjadi akan meningkatkan selisih temperature pada fluida panas karena akan semakin banyak molekul-molekul yang berinteraksi dan terjadinya pertukaran kalor antar kedua fluida tersebut. Hal ini sesuai teori yang menunjukkan adanya hubungan pada rumus:

$$\dot{Q}_h = \dot{m}_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T$$

Di mana laju perpindahan kalor yang terjadi sebanding dengan besarnya nilai laju alir massa, kalor jenis fluida panas, serta selisih temperatur inlet dan outlet fluida kerja.

4.2.3 Grafik Pengaruh Laju Alir Massa Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Laju Alir Massa Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

Pada gambar 4.3 menunjukkan koefisien perpindahan panas menyeluruh yang meningkat seiring dengan peningkatan laju alir massa. Koefisien perpindahan panas menyeluruh dari yang terendah adalah air, nanofluida 0,25%, dan nanofluida 5%. Hasil yang diperoleh menunjukkan fluida kerja nanofluida mengalami peningkatan dalam koefisien perpindahan kalor menyeluruh dibandingkan dengan fluida dasarnya sebesar 2-31 % untuk prosentase massa nanopartikel Al_2O_3 0,15%, 17-42% untuk prosentase massa nanopartikel Al_2O_3 0.25% dan 37-61% prosentase massa nanopartikel Al_2O_3 0.5%

Hal ini mendukung penjelasan sebelumnya bahwa dengan penggunaan fluida kerja berbeda terdapat nilai laju perpindahan kalor yang berbeda. Koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat dihitung dengan rumus:

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T_{lmd}$$

Adanya peningkatan koefisien perpindahan panas pada nanofluida menunjukkan adanya peningkatan kemampuan fluida menghantarkan kalor lebih baik. Menurut teori Keblinski (2002), kenaikan ini disebabkan oleh gerak Brownian dari nanopartikel. Adanya lapisan pada molekul antara permukaan cairan dan molekul yang menyebabkan molekul atau partikel berukuran nano lebih

mudah bergerak secara acak sehingga semakin sering terjadi tumbukan dan akibatnya meningkatkan konduktivitas termalnya yang disertai dengan peningkatan koefisien perpindahan kalor yang dimiliki fluida tersebut.

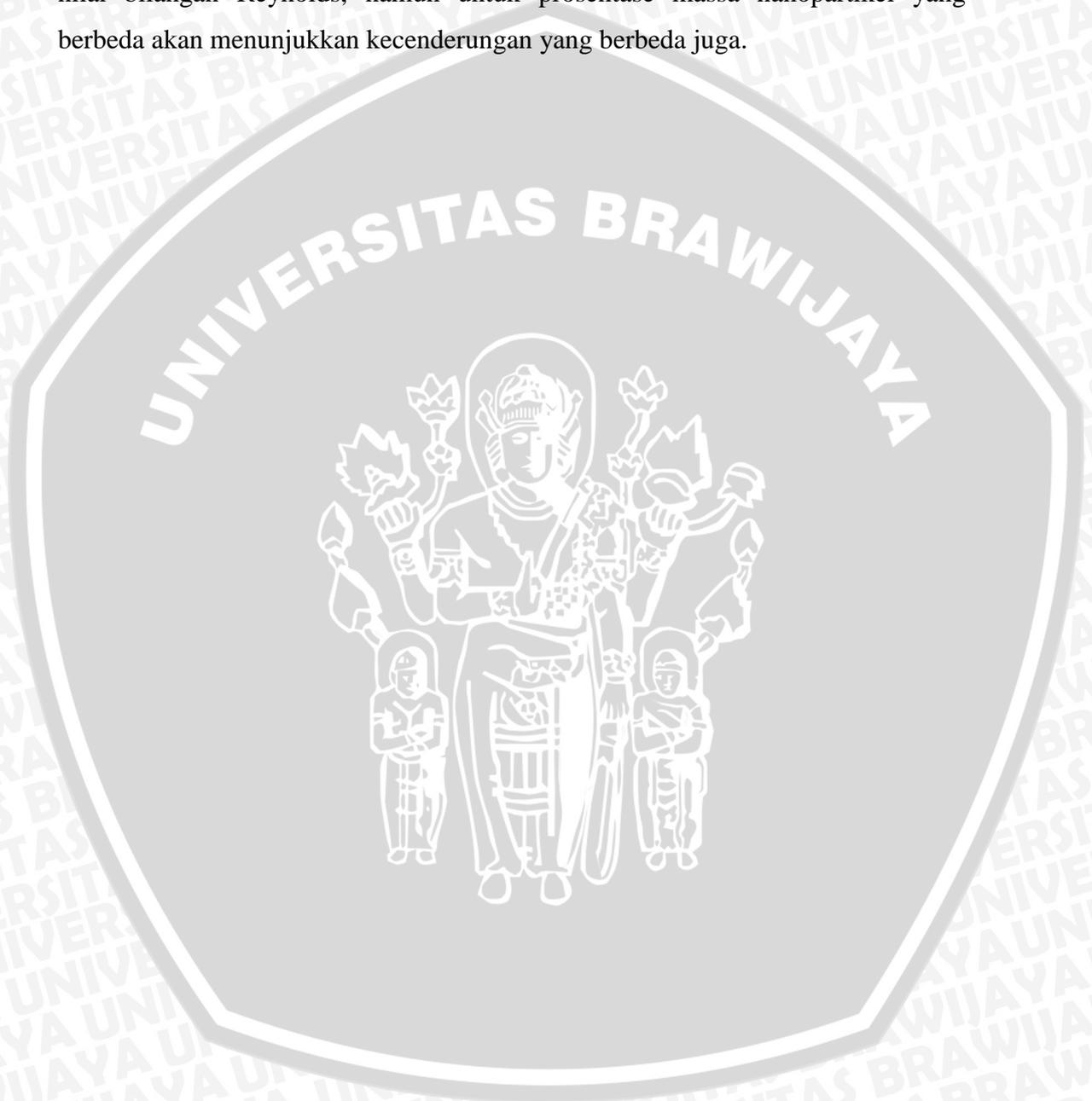
Suatu permodelan yang komprehensif telah diusulkan untuk menjelaskan peningkatan konduktivitas termal di dalam nanofluida dan ketergantungannya akan temperatur. Adapun model yang diusulkan tersebut adalah model partikel diam (*stationary particle model*), yang menjelaskan ketergantungan nilai k pada konsentrasi volume dan ukuran partikel. Dan model yang kedua adalah model partikel bergerak (*moving particle model*) yang menjelaskan bahwa ketergantungan temperatur pada medium yang dihubungkan dengan variasi kecepatan nanopartikel dengan temperatur. Jika dianalisa dengan menggunakan teknik model partikel bergerak (*moving particle model*), menurut teori kinetik partikel dijelaskan bahwa konduktivitas termal partikel berbanding lurus dengan kecepatan rata-ratanya, dan kita ketahui gerak Brownian dari nanopartikel akan semakin cepat dengan kenaikan temperatur, hal ini dapat diterangkan dengan menggunakan rumus Stokes-Einstein.

$$Vp = \frac{2k_B T}{\pi \mu d_p^2}$$

Dari persamaan tersebut dijelaskan bahwa kecepatan partikel tergantung pada faktor T/μ , dan μ adalah viskositas dinamik dari medium fluida dan T adalah temperatur. Dan gerak Brownian dari nanopartikel juga tergantung pada faktor T/μ . Karena viskositas nanofluida menurun dengan peningkatan temperatur, maka menyebabkan kecepatan nanopartikel akan meningkat, sehingga nilai konduktivitas termal nanofluida akan meningkat. Dengan meningkatnya kecepatan, juga akan meningkatkan bilangan Reynoldtnya, sehingga nilai koefisien perpindahan kalornya akan semakin besar.

Dengan menggunakan metode partikel diam (*stationary particle model*), juga dapat dianalisa pengaruh prosentase massa terhadap kenaikan nilai koefisien perpindahan konveksi. Pada model ini dijelaskan bahwa peningkatan laju perpindahan kalor adalah berbanding lurus dengan perbandingan konduktivitas dan fraksi massan partikel (untuk $\phi \ll 1$) dan berbanding terbalik dengan radius nano partikel. Jika prosentase massa meningkat, maka nilai q juga akan

meningkat. Hal ini sesuai dengan hasil yang didapat dari percobaan yang telah peneliti lakukan yaitu prosentase massa nanopartikel sangat mempengaruhi kenaikan nilai koefisien perpindahan panas. Hasilnya menunjukkan bahwa secara umum koefisien perpindahan panas akan meningkat dengan adanya peningkatan nilai bilangan Reynolds, namun untuk prosentase massa nanopartikel yang berbeda akan menunjukkan kecenderungan yang berbeda juga.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Faktor prosentase massa nanopartikel pada nanofluida sangat mempengaruhi besarnya peningkatan rasio koefisien perpindahan kalor menyeluruh nanofluida terhadap fluida dasarnya (air). Semakin besar prosentase massa dari nanopartikel maka akan mengakibatkan peningkatan koefisien perpindahan kalor menyeluruh yang semakin besar. Dari hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan peningkatan dalam koefisien perpindahan kalor menyeluruh dibandingkan dengan fluida dasarnya sebesar 2.7%, 6.6%, 4.4%, 18.4%, 36.2% dan 31.2% berturut-turut antara debit 0.1 lpm - 0.35 lpm untuk prosentase massa nanopartikel Al_2O_3 0,15%, untuk prosentase massa nanopartikel Al_2O_3 0.25% sebesar 17.6%, 17%, 17.7%, 31.4%, 42.2% dan 37.9% berturut-turut antara debit 0.1 lpm - 0.35 lpm. Sedangkan untuk prosentase massa nanopartikel Al_2O_3 0.5% sebesar 37.7%, 28.4%, 36.1%, 42.8%, 48.1% dan 61.5% berturut-turut antara debit 0.1 lpm – 0.35 lpm.

Faktor temperatur yang sama pada nanopartikel Al_2O_3 sebagai fluida kerja dengan perubahan debit yang berbeda-beda, menunjukkan kecenderungan peningkatan koefisien perpindahan kalor menyeluruh nanopartikel terhadap fluida dasarnya (air). Kecenderungan peningkatan koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada nanofluida ini juga diiringi dengan peningkatan laju perpindahan kalor yang memberikan peluang nanofluida sebagai fluida baru yang dapat digunakan pada aplikasi industri khususnya dalam bidang pertukaran kalor.

5.2 SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disarankan:

- Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan variasi temperature nanofluid untuk melihat karakteristik unjuk kerja heat exchanger yang lebih bagus.
- Perlu adanya pengukuran konduktivitas termal nanofluida dengan menggunakan alat bantu *transient hot wire*.

- Perlu adanya analisa tentang pengaruh teknik pencampuran nanopartikel dengan fluida dasarnya terhadap karakteristik nanofluida yang dihasilkan.
- Sebaiknya untuk menjamin terdispersinya nanopartikel dengan fluida dasarnya digunakan alat *ultrasonic vibration*.





