

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi yang digunakan di seluruh dunia hampir 70% dalam bentuk panas, sebagian besar berasal dari bahan bakar fosil. Permintaan energi dunia meningkat berdasarkan data dari BP *Statistics Review of World Energy*. Konsumsi energi primer meningkat pada tahun 2018 pada tingkat 2,9%, hampir dua kali lipat dari rata-rata 10 tahun sebesar 1,5% per tahunnya, dan emisi karbon juga meningkat sebesar 2%, pertumbuhan tercepat selama tujuh tahun [1].

Dalam beberapa dekade terakhir, teknologi pipa berdenyut (*pulsating heat pipe*) telah menarik perhatian sebagai salah satu solusi pendinginan dan pengelolaan panas yang efisien. Aplikasi teknologi ini mencakup berbagai industri, mulai dari elektronik, mesin pembangkit energi, hingga perangkat medis. Pemilihan cairan kerja (*work fluid*) menjadi faktor kunci dalam kinerja pipa berdenyut. Cairan kerja yang sesuai dapat meningkatkan efisiensi transfer panas dan stabilitas operasi sistem tersebut [2].

Pipa kalor berdenyut pada dasarnya adalah pipa kecil yang diisi dengan cairan dan uap, dan memiliki diameter internal berskala kapiler. Di antara segmen uap, cairan dalam pipa dapat membentuk segmen atau sumbat. Tekanan diferensial tercipta dan sumbat bergerak sebagai akibat dari sebagian cairan yang menguap dan menyerap panas saat terkena panas. Sebagian uap dapat mengembun dan melepaskan panas saat bersentuhan dengan area dingin. Bergantung pada penggunaan dan desain, *loop* dapat berupa *loop* tertutup atau terbuka [3].

Jika dibandingkan dengan pipa kalor berdenyut *loop* terbuka, pipa kalor berdenyut *loop* tertutup (CLPHP) biasanya memiliki kemampuan perpindahan kalor yang lebih unggul. Sebenarnya, ini adalah sistem perpindahan kalor aliran gas-cair dua fase dengan beberapa ketidakpastian yang dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk jenis fluida kerja, rasio pengisian/ *filling ratio* (FR), masukan kalor, kemiringan, dan jumlah putaran [4].

Alat penukar kalor digunakan untuk melakukan perpindahan panas dari fluida kerja. Alat penukar kalor digunakan untuk memindahkan panas dari fluida

kerja dari suhu yang lebih tinggi ke suhu yang lebih rendah [5]. Perpindahan panas dapat terjadi secara langsung, ketika kedua fluida berkontak secara langsung, atau secara tidak langsung, ketika panas terhalang oleh dinding.

Evaporator, adiabatik, dan kondensor adalah tiga komponen pipa kalor. Salah satu ujung evaporator adalah tempat panas diserap dan cairan diuapkan. Bagian adiabatik kemudian berada di ujung lain evaporator, dan di ujung lainnya adalah kondensor, tempat kalor dilepaskan. Cairan mengalir dari kondensor ke evaporator melalui sumbu kapiler. Prinsip kerja kapiler memungkinkan cairan bergerak. Setelah fluida menguap di evaporator, maka uap mengalir ke kondensor. Kemudian suhu kondensor turun, mengubah uap menjadi cairan. Selanjutnya, cairan pada kondensor ini akan mengalir kembali ke sisi panas, juga dikenal sebagai evaporator, dan proses ini akan berulang secara menerus [6].

Barua et al. menyelidiki pengaruh rasio pengisian pada kinerja CLPHP (*close loop pulsating heat pipe*) dan karakteristik perpindahan panas. Penemuan mereka menunjukkan bahwa variasi fluida kerja, rasio pengisian, dan masukan panas mempengaruhi kinerja CLPHP (*close loop pulsating heat pipe*). Air bekerja lebih baik daripada etanol pada masukan panas yang rendah, tetapi kedua cairan bertindak hampir sama pada masukan panas yang tinggi [7]. Pada penelitian Tong et al., 2001, rasio pengisian/ *filling ratio* sangat berpengaruh pada kemampuan *startup* dan kinerja perpindahan panas pada *close loop pulsating heat pipe* (CLPHP). Pada penelitiannya juga membuktikan bahwa masukan panas *input* yang rendah, air menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan etanol. Tetapi pada kondisi masukan panas tinggi, keduanya memiliki performa yang hampir setara. [8].

Pada penelitian Riehl, (2004) yang dikutip oleh [9], membandingkan kinerja aseton, etanol, isopropil alkohol, metanol, dan air untuk pipa kalor berdenyut *loop* terbuka, menemukan bahwa etanol berfungsi paling baik dalam konfigurasi horizontal dan aseton paling baik dalam arah vertikal. Pada penelitian [9] air dan etanol dipilih, ialah jenis cairan kerja yang sering digunakan karena sifat termofisikanya yang baik, seperti tegangan permukaan rendah, viskositas rendah dan kemampuan transfer panas yang efisien. Namun, pemahaman yang mendalam mengenai pengaruh kedua cairan ini terhadap kinerja pipa berdenyut masih

membutuhkan penelitian lebih lanjut. Studi eksperimental menjadi penting untuk mengevaluasi karakteristik aliran fluida dan efektivitas transfer panas masing-masing cairan dalam berbagai kondisi operasi.

Diameter tabung harus cukup kecil untuk memungkinkan sumbat cairan dan uap [10]. Pada penelitian Yang et al, dikutip oleh [11] menyelidiki keterbatasan operasional CLPHP mereka mempertahankan rasio pengisian pada 50%. Mereka menemukan bahwa CLPHP dengan diameter 2 mm paling baik saat dipanaskan dari bawah ke atas pada posisi vertikal. Dan pada penelitian [9] ditemukan bahwa 50% air dan 40% metanol merupakan rasio pengisian ideal untuk resistansi termal minimum.

Tabung kapiler CLPHP (*close loop pulsating heat pipe*) terdiri dari tabung berkelok-kelok yang sebagian diisi dengan fluida kerja dan tidak memiliki struktur sumbu internal seperti tabung kapiler yang dievakuasi. Ketika salah satu ujung tabung kapiler (evaporator) dipanaskan, fluida kerja menguap dan meningkatkan tekanan uap, yang menyebabkan gelembung muncul di zona evaporator. Setelah kondensor mendingin, tekanan uap turun dan kondensasi terjadi di ujung yang lebih rendah dari tabung [10].

Jenis fluida kerja, rasio pengisian, sudut kemiringan, dan pola aliran adalah beberapa komponen dan parameter yang mempengaruhi kinerja CLPHP (*close loop pulsating heat pipe*). Banyak peneliti sebelumnya telah menyelidiki ini. Mameli et al. menyelidiki bagaimana sudut kemiringan dan rasio pengisian CLPHP (*close loop pulsating heat pipe*) berdampak pada ketidakstabilan termalnya. Mereka mengusulkan bahwa sudut kemiringan memiliki dampak yang lebih besar, dan operasi vertikal dipengaruhi oleh operasi yang tidak stabil pada masukan panas yang tinggi [12]. Pada penelitian Akter Jahan et al., dikutip oleh [11] menyelidiki dampak sudut kemiringan terhadap karakteristik termal CLPHP (*close loop pulsating heat pipe*). Eksperimen mereka pada air dan etanol menunjukkan bahwa sudut kemiringan mengubah pola aliran internal dan menyebabkan hasil yang berbeda.

Dengan latar belakang tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk mengeksplorasi potensi dan membandingkan efisiensi penggunaan air dan etanol dalam pipa berdenyut. Dengan penggunaan air dan etanol sebagai fluidanya, serta



pengaruh kinerja pipa kalor pada sudut kemiringan. Dengan memahami keunggulan dan keterbatasan dan masing-masing fluida kerja, diharapkan dapat memberikan rekomendasi penggunaan cairan kerja yang lebih efektif untuk aplikasi tertentu.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah, diantaranya yaitu:

1. Pipa kalor berdenyut tertutup menawarkan solusi alternatif. Namun, berbagai parameter operasi, terutama jenis fluida kerja dan sudut kemiringan operasi dapat mempengaruhi kinerjanya.
2. Membutuhkan alat penukar kalor dengan rendah biaya
3. Terlalu banyak jenis alat penukar kalor tidak dalam bentuk yang sederhana, dibandingkan dengan pipa kalor berdenyut tertutup dengan variasi sudut kemiringan  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  dengan fluida kerja air dan etanol.
4. Meskipun etanol dan air adalah dua fluida yang paling umum digunakan karena sifat termofisikanya yang baik, masih belum ada pemahaman yang solid tentang bagaimana masing-masing fluida berfungsi dalam berbagai kondisi sudut kemiringan.
5. Belum cukup data eksperimental untuk membandingkan secara langsung pengaruh air dan etanol terhadap tahanan termal dan laju perpindahan panas dalam sistem CLPHP pada berbagai sudut kemiringan dan diameter dalam pipa 2 mm dengan jumlah 5 lekukan.

## 1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah penelitian ini, yaitu:

1. Pipa yang digunakan dalam penelitian ini hanya memiliki 5 lekukan.
2. Hanya ada dua jenis fluida yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air dan etanol.
3. Kemiringan pipa kalor dengan sudut  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $90^\circ$ .
4. Menggunakan filling ratio sebesar 65%.
5. Pengujian dilakukan berfokus pada bagaimana pengaruh kinerja fluida kerja berdampak pada kinerja pipa kalor.
6. Menggunakan pipa kalor berdiameter dalam 2 mm dan diameter luar 3 mm.

#### 1.4 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang yang disampaikan, maka akan muncul permasalahan, diantaranya berikut:

1. Apakah fluida air dan etanol dapat bekerja dengan baik pada proses penukaran kalor?
2. Bagaimana pengaruh fluida kerja air dan etanol terhadap kinerja pipa kalor?
3. Bagaimana pengaruh kemiringan pada sudut  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $90^\circ$  terhadap kinerja pipa kalor berdenyut tertutup?

#### 1.5 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui peran air dan etanol sebagai fluida kerja terhadap kinerja pipa kalor berdenyut tertutup.
2. Untuk mengevaluasi efek sudut kemiringan ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $90^\circ$ ) terhadap kinerja termal CLPHP yang diisi dengan etanol dan air.
3. Menggunakan hasil pengujian ekperimental untuk mendukung penerapan *close loop pulsating heat pipe* (CLPHP) pada berbagai bidang rekayasa teknik dan menyarankan pemilihan fluida kerja yang lebih efisien.

#### 1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diarpakan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Diharapkan bahwa penelitian ini akan meningkatkan pemahaman, pengetahuan, dan pengalaman mahasiswa tentang perancangan, perhitungan, pemanfaatan energi, dan pengujian efek sudut kemiringan pada kinerja pipa kalor berdenyut tertutup.
2. Diharapkan bahwa hasil penelitian ini akan membantu mempertimbangkan penggunaan salah satu jenis sistem pemanas berdasarkan kinerja pipa kalor.
3. Penelitian ini dapat digunakan untuk meningkatkan pengetahuan peneliti tentang pengaruh kinerja fluida kerja terhadap kinerja pipa kalor.