

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Mobil merupakan salah satu moda transportasi darat yang memiliki peran penting dalam kehidupan masyarakat karena kendaraan ini digunakan untuk memudahkan mobilitas masyarakat. Selain itu, mobil juga digunakan oleh manusia untuk memudahkan pendistribusian dalam memindahkan barang dalam jumlah besar. Salah satu mobil yang digunakan untuk memindahkan barang dalam jumlah besar tersebut adalah mobil pick up. Jumlah mobil di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2022, total keberadaan mobil penumpang sebanyak 17.1 Juta unit dan untuk mobil barang seperti pick-up sebesar 5.5 Juta unit [1].

Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), mayoritas kendaraan termasuk mobil Pick up yang beroperasi di Indonesia pada tahun 2022 adalah kendaraan berbahan bakar fosil seperti bensin dan solar untuk menjalankan mesin pembakarannya [2]. Proses pembakaran ini menghasilkan energi yang diperlukan untuk menggerakkan kendaraan, tetapi juga melepaskan berbagai polutan ke atmosfer. Di Indonesia, sektor transportasi menyumbang sekitar sepertiga dari konsumsi energi final dan sekitar 40% dari total emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) [3]. Dari jumlah tersebut, 11 juta mobil yang beroperasi menghasilkan lebih dari 35 juta ton emisi CO<sub>2</sub> per tahun. Menurut Institute for Energy Efficiency, hanya 20-30% energi dari bahan bakar fosil yang efektif digunakan untuk menggerakkan kendaraan, sedangkan 70-80% sisanya terbuang dalam bentuk panas [4]. Menurut Zavi Moreno, Limbah panas dari mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine/ICE*) masih sangat tinggi dan selama ini terbuang sia-sia, hal itu dapat menjadi sumber energi terbarukan dengan menggunakan teknologi *Thermoelectric Generator* (TEG) [5].

*Thermoelectric Generator* (TEG) adalah perangkat yang mengubah panas knalpot menjadi energi listrik secara langsung berdasarkan prinsip Efek *Seebeck*. Proses ini terjadi ketika terdapat perbedaan suhu antara permukaan panas (*hot side*) dan permukaan dingin (*cold side*) pada modul TEG. Material semikonduktor yang

digunakan pada modul ini menghasilkan arus listrik akibat gradien suhu tersebut. Pada konfigurasi modul TEG dapat disusun *Single-stage* (tunggal) atau *Two-stage* (tumpuk). Teknologi ini dapat mengambil panas dari gas buang mobil dan mengubahnya menjadi energi listrik [6]. Pada pengaplikasiannya, sistem TEG memperoleh panas pada permukaan panas yang didapat dari panas gas buang knalpot. Panas pada temperatur knalpot tersebut bervariasi bergantung pada putaran RPM kendaraan. Namun, pada sisi dingin sistem TEG masih dapat diperoleh temperatur yang lebih rendah dengan menambahkan berbagai pendingin seperti *Heatsink* dan *Heat Pipe*.

Banyak peneliti telah melakukan upaya untuk memaksimalkan daya keluaran listrik dari TEG dengan memanfaatkan gas buang mobil atau knalpot. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Zavi Moreno et al tentang penggunaan *Heat Pipe* dalam sistem TEG pada panas knalpot yang bertujuan untuk mendapatkan daya keluaran maksimal. Pada penelitian tersebut jumlah TEG yang disusun secara seri dan desain pendingin divariasikan. Hasilnya TEM dengan jumlah 12 yang menggunakan pendingin *Heat Pipe*, *Heatsink*, dan kipas untuk sisi dingin pada sistem TEG mendapatkan daya keluaran paling besar yaitu 0.72 W pada temperatur knalpot 180°C [5]. Penelitian yang dilakukan oleh Liang et al. yang memvariasikan susunan modul TEG menjadi *Two-stage* atau ditumpuk pada sistem TEG yang diaplikasikan di knalpot kendaraan. Pada penelitian tersebut sisi dingin sistem TEG merupakan Cooling Flow. Hasilnya adalah susunan modul TEG bertingkat atau ditumpuk menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan TEG *Single-stage* pada temperatur 500-800 K [7].

Penelitian yang dilakukan oleh Kim et al. menambahkan heating block dan *Heatsink* diantara thermoelectric module (TEM) yang berfungsi untuk memperbesar beda temperatur. Jumlah TEM yang digunakan pada penelitian ini adalah 24 TEM. Hasilnya saat akselerasi mobil 120 km/h didapatkan beda temperatur 106.4°C dan daya maksimal 3,199 Watt [8]. Penelitian yang dilakukan oleh Cao et al. menambahkan *Heat Pipe* dalam melakukan peningkatan perpindahan panas, dan mempelajari pengaruh kedalaman pemasangan *Heat Pipe* dan sudut antara *Heat Pipe* dengan arah aliran gas buang terhadap kinerja TEG. Jumlah TEM yang digunakan adalah 36 yang disusun secara seri. Didapatkan hasil

maksimal keluaran daya sebesar 13,08 W [9]. Penelitian yang dilakukan oleh Sukarno melakukan penelitian pada panas buang knalpot sepeda motor menggunakan TEG dengan konstruksi *Thermoelectric Module* (TEM) ditempelkan dengan dudukan *Heatsink* sisi panas (*Hot Side*) yang bersinggungan langsung dengan knalpot dan *Heatsink* sisi dingin (*Cold Side*) yang berfungsi untuk mengendalikan temperatur dari TEM pada sisi dingin agar temperaturnya dapat serendah mungkin. Jumlah TEM yang digunakan adalah 2 yang disusun secara seri. Didapatkan hasil arus listrik terbesar pada pengujian putaran mesin 3000 rpm yaitu sebesar 205 mA [10].

Penelitian yang dilakukan oleh Gürbüz et al. membuat konstruksi dari TEG dengan tiga lapisan yaitu sumber panas berbentuk persegi panjang yang diapit bagian atas bawahnya dengan TEM dan sumber dingin. Pada sisi dingin didesain berbentuk persegi panjang dimana didalamnya terdapat pipa berbentuk labirin berbahan tembaga. Lalu dialirkan engine coolant di dalamnya dan pada pipa tembaga dialirkan propana. Jumlah TEM yang digunakan adalah 24. Berdasarkan konstruksi tersebut didapatkan hasil output sebesar 90,2 W DC pada pengujian 4500 rpm [11]. Penelitian yang dilakukan oleh Wang et al. membuat konstruksi TEG berbentuk dinding balok yang ditaruh didalam konstruksi knalpot berbentuk balok yang lebih besar. Hal ini bertujuan untuk memberikan pendinginan secara kontak langsung dengan dialiri air di dalam dingin balok TEG, konstruksi ini disebut dengan *Automotive Direct Coolant Thermoelectric Generator* (ADCTEG). Hasil yang didapat yaitu 29,15 W dan efisiensi konversi rata-rata sebesar 3,17% dari konstruksi ADCTEG [12].

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, Penelitian yang dilakukan oleh Zavi Moreno et al melakukan variasi jumlah TEM yang disusun secara seri dan desain pendingin pada sisi dingin. Hasilnya TEM dengan jumlah 12 yang menggunakan pendingin *Heat Pipe*, *Heatsink*, dan kipas untuk sisi dingin pada sistem TEG mendapatkan daya keluaran paling besar. Penelitian yang dilakukan oleh Thong et al. memiliki konstruksi TEG berupa sambungan bagian knalpot dengan penambahan *Heatsink*. Variasi jumlah sirip pada *Heatsink* diberikan pada penelitiannya dengan jumlah TEM sebanyak 8 yang disusun secara seri. Mendapatkan hasil keluaran daya yang berbeda beda. Lalu penelitian yang

dilakukan Cao et al. [8] dengan konstruksi TEG berupa sambungan bagian knalpot yang ditambahkan *Heat Pipe* standar yang ditaruh di dalam bagian konstruksi TEG bertujuan untuk meningkatkan kinerja perpindahan panas untuk TEM berjumlah 36 yang disusun secara seri dan dapat menghasilkan daya sebesar 13,08 W. Lalu penelitian yang dilakukan oleh Gürbüz et al. yang menggunakan *Water Block* sebagai pendingin sisi dingin dengan jumlah TEM sebanyak 24. Menghasilkan Output sebesar 90.2 W. Oleh karena itu, penulis melakukan percobaan menumpuk susunan modul TEG yang dirangkai secara seri. Untuk sistem pendingin pada sisi dingin akan menggunakan *Heatsink*, *Heat Pipe*, dan Kipas. Pada *Heat Pipe* yang digunakan akan dilakukan variasi yaitu menggunakan *Heat Pipe* berbentuk lurus dan bentuk L yang akan divariasikan rasio pengisian fluidanya.

Maka dari itu, sistem TEG yang telah menggunakan konfigurasi TEM yang ditumpuk akan dilakukan eksperimen pada variasi *Heat Pipe* pada sisi dingin, lalu hasil akhirnya akan dilihat mana daya pengeluaran paling besar dari variasi tersebut.

## 1.2. Identifikasi Masalah

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

1. Limbah panas knalpot yang dihasilkan dari sistem pembakaran bahan bakar masih tinggi.
2. Dibutuhkan teknologi yang dapat memanfaatkan limbah panas knalpot menjadi energi listrik.
3. Kemampuan *Heat Pipe* wickless bentuk lurus dan bentuk L dalam memindahkan panas.
4. Kemampuan *Thermoelectric Generator* (TEG) dalam menghasilkan daya listrik dengan pendingin *Heat Pipe* wickless dan *Heatsink*.

### 1.3. Pembatasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini, yaitu:

1. Dalam meningkatkan kinerja sistem TEG, jumlah modul TEG akan dibatasi maksimal 12 TEM yang disusun secara tumpuk.
2. Untuk meningkatkan kerja sistem TEG, *Heat Pipe* wickless, *Heatsink*, dan Kipas digunakan sebagai pendingin pada sisi dingin.
3. Untuk fluida kerja yang digunakan pada *Heat Pipe* hanya *Deionized Water*.
4. Sumber energi panas yang digunakan yaitu panas dari *heater* dengan temperatur 150°C, 160°C, 170°C, dan 180°C.
5. Pengujian difokuskan pada daya listrik dan temperatur yang dihasilkan oleh sistem TEG berdasarkan variasi *Heat Pipe* wickless pada sisi dingin.

### 1.4. Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana kinerja *Heat Pipe* wickless bentuk lurus dan bentuk L terhadap variasi rasio pengisian fluidanya?
2. Apakah variasi *Heat Pipe* wickless pada sisi dingin sistem TEG mempengaruhi kinerja sistem TEG?

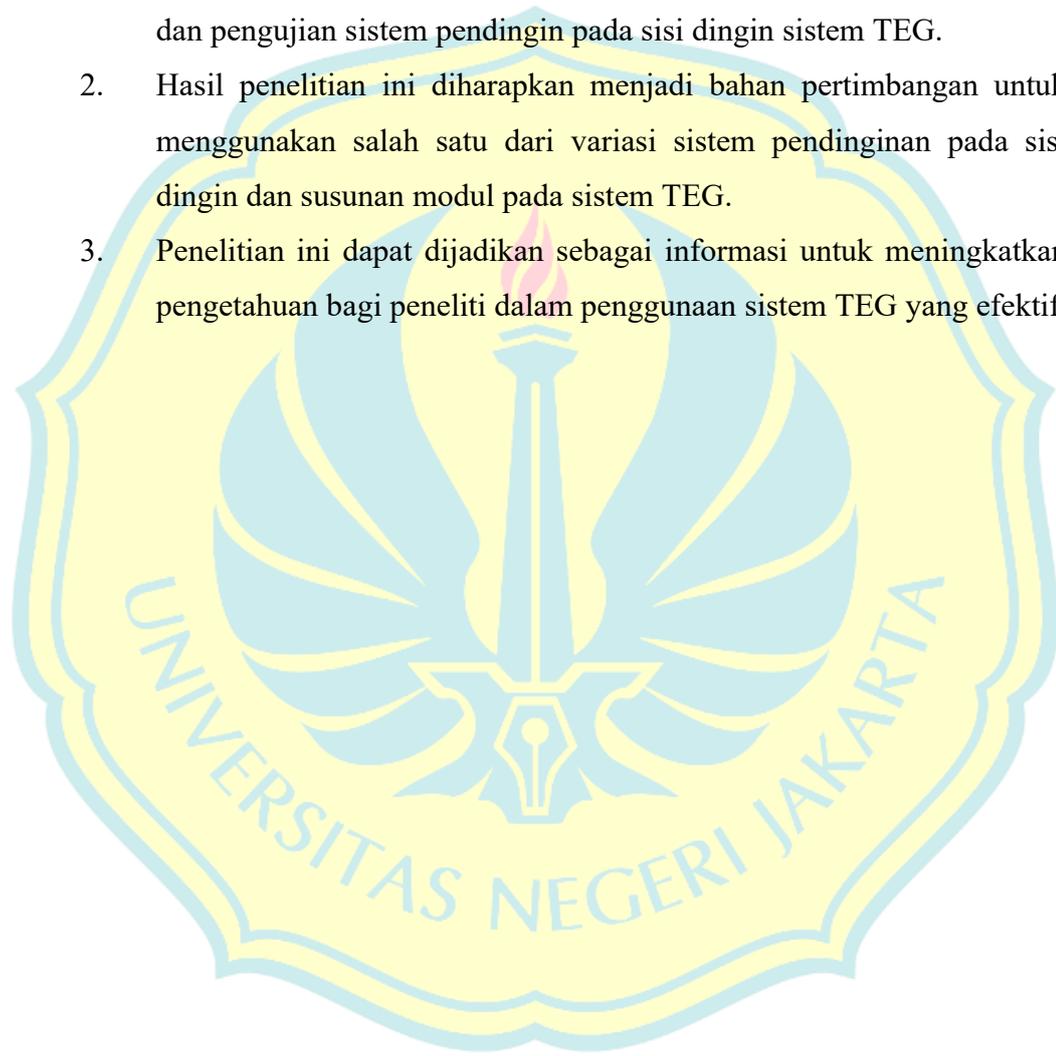
### 1.5. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh variasi *Filling Ratio* fluida kerja pada *Heat Pipe* wickless bentuk lurus terhadap resistansi termalnya.
2. Menganalisis pengaruh variasi *Filling Ratio* fluida kerja pada *Heat Pipe* wickless bentuk L terhadap resistansi termalnya.
3. Menganalisis pengaruh geometri dan rasio fluida *Heat Pipe* wickless yang digunakan pada sistem TEG terhadap daya keluarannya.

### 1.6. Manfaat Penelitian

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

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan, pengetahuan, dan pengalaman mahasiswa terkait perancangan, perhitungan, manufaktur, dan pengujian sistem pendingin pada sisi dingin sistem TEG.
2. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi bahan pertimbangan untuk menggunakan salah satu dari variasi sistem pendinginan pada sisi dingin dan susunan modul pada sistem TEG.
3. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai informasi untuk meningkatkan pengetahuan bagi peneliti dalam penggunaan sistem TEG yang efektif.



*Intelligentia - Dignitas*