

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, teknologi industri sangat membantu aktivitas manusia menjadi lebih mudah dan efisien, contohnya mesin panas yang telah dikembangkan sejak periode Revolusi Industri pada sekitar abad ke-17 (Mohajan, 2019). Penggunaan mesin panas sudah lazim ditemukan pada berbagai bidang, tidak terkecuali proses manufaktur dan transportasi dimana mesin panas dimanfaatkan sebagai media untuk mengubah panas yang mengalir pada mesin menjadi kerja untuk menggerakkan gir maupun roda pada mesin (Kondepudi, 2008). Jumlah kerja yang dapat dihasilkan oleh mesin berbanding lurus dengan tingkat efisiensi dan seberapa jumlah panas yang dimasukkan kedalam mesin tersebut.

Mesin panas terus dikembangkan sejak awal kemunculannya dengan memanfaatkan kaidah-kaidah fisika klasik, seperti termodinamika dan dinamika (Ghojel, 2020). Efisiensi menjadi poin utama yang terus dikembangkan, karena semakin tinggi efisiensi mesin maka semakin minimum bahan bakar yang diperlukan mesin untuk bekerja. Perkembangan mesin panas pada tinjauan klasik telah mencapai batasannya (Caton, 2017, Macek, 2005) dimana dibutuhkan terobosan baru untuk meningkatkan efisiensi yang dapat dicapai mesin. Hal ini berkaitan dengan kebutuhan dan jumlah manusia yang semakin meningkat dalam penggunaan mesin baik langsung maupun tidak langsung, sehingga menuntut efektivitas dan efisiensi mesin untuk menjadi lebih tinggi lagi.

Mesin panas dengan siklus yang *reversible* memiliki efisiensi paling tinggi (Connor, 2019), contohnya mesin Carnot (Balmer, 2011). Pada kenyataannya,

mesin Carnot masih belum dapat direalisasikan pada kehidupan nyata karena siklus mesin harus dijalankan dalam keadaan *quasi-static*. Keadaan *quasi-static* itu sendiri adalah keadaan setimbang secara termodinamika pada suatu proses termodinamika yang hanya dapat terjadi pada waktu yang lambat. Kondisi ini diperlukan untuk memenuhi syarat *reversible* pada Hukum II Termodinamika dengan tujuan menjaga agar tidak terjadinya perubahan entropi pada awal dan akhir siklus (Borgnakke, 2012). Namun faktanya, diperlukan waktu siklus yang mencapai tak-hingga agar keadaan *quasi-static* ini dapat terpenuhi yang mustahil dipenuhi pada sebuah mesin dengan tinjauan klasik.

Sejak dimulai era kuantum, fisikawan mencoba mencari berbagai relasi yang saling relevan antara fisika klasik dengan fisika kuantum, contohnya relevansi antara termodinamika dan kuantum. Hal ini bertujuan agar diperoleh solusi dari batasan-batasan termodinamika pada Hukum II Termodinamika dan merealisasikan teori *Maxwell's demon* agar tercapainya mesin yang dapat *reversible* (Kieu, 2006). Saat ini, termodinamika kuantum telah menjadi topik penelitian yang sangat menarik terutama untuk isu model *Quantum Heat Engine* (QHE). Model tersebut dapat berbeda berdasarkan siklus (Sutantyo, 2020; Saputra, 2019; Singh, 2019; Quan dkk., 2007), dimensi sistem (Latifah dan Purwanto, 2013; Belfaqih dkk., 2015; Sutantyo dkk., 2015), maupun partikel sebagai bahan bakar yang ditinjau (Saputra, 2021; Akbar dkk., 2018; Singh dan Rebari, 2020; Muñoz dkk., 2018). Dimulai oleh pelopor ide QHE, Scovil dan Schulz-DuBois (1959), tujuan pendekatan kuantum dalam pemodelan mesin panas adalah untuk menemukan model mesin panas yang paling efisien. Seperti kita ketahui efisiensi *Classical Heat*

Engine (CHE) dibatasi oleh hukum kedua termodinamika (Balmer, 2011), yaitu perbandingan antara panas yang diserap dan kerja mekanik yang dihasilkan selalu

$$\text{kurang dari 1, } \eta = \frac{W}{Q_{in}} < 1.$$

Berbeda dengan CHE, QHE menghasilkan kerja mekanik dengan memanfaatkan efek kuantum, seperti tingkat energi diskrit, koherensi kuantum, atau kurungan kuantum (*quantum confinement*) (Saputra dan Purwanto, 2010). Tinjauan QHE ini diharapkan dapat menaikkan efisiensi pada model mesin panas. Meskipun demikian, QHE juga menggunakan siklus termodinamika klasik seperti Otto (Latifah dan Purwanto, 2013), Brayton (Singh, 2019), dan siklus Carnot (Bender dkk., 2000).

Bender dkk. (2000) mengusulkan model QHE teoritis berdasarkan siklus Carnot yang memperoleh efisiensi sebesar $\eta = 1 - E_C/E_H$, dimana E_C dan E_H merupakan nilai ekspektasi Hamiltonian yang analog dengan besaran klasik T_C dan T_H . Selain itu, beberapa analogi lain seperti lebar sumur potensial terhadap volume piston dan gaya yang diberikan oleh partikel, $F = -dE(L)/dL$, memenuhi analogi terhadap tekanan pada dinding piston. Analogi tersebut menghasilkan efisiensi yang relevan dengan CHE (Bender dkk., 2000). Perkembangan model Bender dkk. model dengan sistem 2D (Belfaqih dkk., 2015) dan 3D (Sutantyo, 2020) menghasilkan mesin panas yang lebih efisien.

Saputra (2019) meneliti mesin panas kuantum dengan siklus Lenoir dan pada penelitiannya diperoleh kenaikan efisiensi sebesar 56,29% jika dibandingkan mesin panas klasik. Mesin panas dimodelkan dalam *multilevel* dengan partikel

bebas dalam sumur potensial 1 dimensi. Saputra (2020) juga menjelaskan bahwa nilai efisiensi mesin dipengaruhi oleh rasio perbandingan volume kompresi mesin, sama halnya dengan yang terjadi pada mesin panas kuantum lain. Faktor penting yang menyebabkan terjadinya kenaikan efisiensi adalah perbedaan pada rasio panas spesifik mesinnya.

Tinjauan kuantum pada mesin panas sudah sampai pada tahap dimana partikel yang ditinjau bukanlah lagi partikel bebas, melainkan partikel Fermion (Singh, 2019) maupun Boson (Akbar, 2018) sebagai *working substance* atau bahan bakar mesin kuantumnya. Singh (2019) melakukan penelitian berupa mesin panas Brayton kuantum dengan Fermion non-interaksi di dalam kotak potensial satu dimensi. Berdasarkan hasil penelitiannya, efisiensi dan *irreversibility* mesin tidak dipengaruhi oleh jumlah partikel Fermion yang memuatnya. Namun jumlah partikel ini mempengaruhi besar daya yang dapat dihasilkan mesin dimana besar daya naik seiring bertambahnya jumlah partikel.

Dalam upaya menciptakan model yang lebih realistis, Wang dan He (2012) meninjau mesin panas kuantum 1 dimensi dengan siklus Carnot dalam keadaan memiliki kebocoran panas. Model mesin Wang menggunakan partikel Fermion non-interaksi sebagai *working substance*-nya. Kebocoran panas atau panas merupakan hal lumrah dalam keadaan fisis suatu mesin. Penambahan parameter ini dapat menjadi antisipasi pada penurunan efisiensi mesin. Pada hasil penelitiannya, ditemukan bahwa efisiensi menurun seiring kenaikan tingkat kebocoran panas nya dan kurva efisiensi terhadap daya maksimumnya membentuk *loop* diantara efisiensi nol hingga satu.

Penelitian ini mengkaji mesin panas Lenoir kuantum dengan menggunakan N partikel Fermion non-interaksi pada *multilevel* sumur potensial satu dimensi untuk memperoleh hasil *general*-nya dan dikaji pula kasus khusus untuk 2 partikel Fermion dalam 3 tingkat *eigen-states*. Hal ini dilakukan sebagai pembandingan antara hasil pada kasus khusus dengan formulasi *general*-nya. Penelitian ini juga mengkaji parameter fisis berupa kebocoran panas untuk kajian mesin panas Lenoir kuantum yang harapannya dapat menciptakan model mesin panas Lenoir kuantum yang lebih riil. Model mesin juga ditinjau relasi Clausius-nya dan diturunkan pula optimasi pada daya maksimum, sehingga memberi gambaran kemampuan model mesin.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan model mesin panas Lenoir kuantum dengan partikel Fermion non-interaksi sebagai bahan bakarnya dengan meninjau optimasi daya dan *reversibility* model mesin panas. Parameter fisis berupa kebocoran panas (*Heat Leakage*) diharapkan mampu menjadikan model lebih riil sehingga optimasi dan *reversibility* yang ditinjau lebih mendekati nilai riilnya pula.

Penelitian ini diharapkan mampu menjadi landasan pembuatan mesin panas kuantum di masa yang akan datang dengan telah ditinjaunya model dalam kasus riil. Selain itu, hasil dari penelitian ini dapat dipakai sebagai pijakan maupun perbandingan untuk penelitian mesin panas kuantum selanjutnya, terutama mesin panas kuantum dengan siklus Lenoir.

1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Demi menghindari meluasnya objek kajian maka batasan masalah difokuskan pada hal – hal berikut ini:

1. Siklus termodinamika yang ditinjau adalah siklus Lenoir.
2. Pada formulasi *general*, partikel Fermion non-interaksi berjumlah N dengan *multilevel eigen-states*.
3. Pada kasus khusus, partikel kuantum yang ditinjau berupa 2 partikel non-interaksi Fermion pada 3 tingkat *eigen-states* pada sumur potensial.
4. Hasil yang diharapkan berupa kurva efisiensi siklus terhadap rasio volume dengan parameter relasi Clausius pada mesin dan optimasi daya maksimum mesin dalam pengaruh kebocoran panas pada model mesin.
5. Visualisasi pemodelan dan perhitungan numerik dilakukan menggunakan *Wolfram Mathematica 12*.

