

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sebuah alat pasti memiliki sumber energi untuk menggerakannya terutama pada alat transportasi. Kapal sebagai salah satu alat transportasi yang bergerak pada medan perairan pastinya memiliki sumber energi untuk menggerakannya. Umumnya kapal digerakkan oleh sebuah mesin yang biasa disebut mesin induk (*main engine*) dan sumber energi untuk menggerakkan mesin itu adalah minyak bahan bakar (*fuel oil*). Mesin kapal mengonsumsi bahan bakar sebagai sumber energi untuk propulsi (Çolak and Ölmez, 2023) (Singh and Pedersen, 2016). Sebuah kapal yang beroperasi harus menggunakan minyak bahan bakar (*fuel oil*) dengan kadar sulfur kurang dari 0.1% m/m (Peng *et al.*, 2021). Namun, dalam prakteknya penggunaan minyak bahan bakar ini memiliki beberapa kelemahan.

Penggunaan minyak bahan bakar sebagai sumber energi terdapat sejumlah kelemahan yang perlu diperhitungkan. Salah satu kelemahan utama adalah dampak lingkungan yang signifikan yang dihasilkan oleh penggunaan bahan bakar fosil ini. Pada tahun 2022 hampir 100% hidrogen dihasilkan menggunakan bahan bakar fosil, penggunaan hidrogen ini berkontribusi terhadap lebih dari 2% emisi CO<sub>2</sub> global setiap tahunnya (Vezzoni, 2024). Pembakaran minyak bahan bakar menghasilkan emisi gas rumah kaca, seperti karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan nitrogen oksida (NO), yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global. Selain itu, minyak bahan bakar juga dapat menyebabkan polusi udara dan air yang merusak ekosistem laut dan kualitas udara di pelabuhan. Penggunaan minyak bahan bakar menghasilkan polusi yang dapat mengakibatkan kerusakan pada lingkungan, semakin besar *output power* yang dihasilkan sebuah sistem semakin besar pula kandungan CO<sub>2</sub> yang ada. Data tersebut adalah sebagai berikut: 32.80 kW untuk kandungan CO<sub>2</sub> 21%, 44.68 kW untuk kandungan 30%, dan 56.78 kW untuk kandungan 40% (Shan, Zhou and Cen, 2019). Selain aspek lingkungan, kelemahan lainnya adalah fluktuasi harga minyak bahan bakar yang dapat mempengaruhi biaya operasional kapal secara signifikan. Variabilitas harga dan ketersediaan minyak bahan bakar dapat menjadi beban finansial yang sulit diprediksi bagi perusahaan

pelayaran. Beberapa analis telah memperingatkan bahwa harga minyak akan mengalami kenaikan drastis hingga 350% pada awal tahun 2020an, ketika penundaan tidak lagi menjadi pilihan bagi pengirim barang dan lonjakan permintaan bahan bakar rendah sulfur dari sektor kelautan secara tiba-tiba akan berdampak terhadap harga global (Halff, Younes and Boersma, 2019). Kelemahan lainnya adalah tingkat efisiensi yang relatif rendah dalam penggunaan minyak bahan bakar, yang memerlukan konsumsi yang tinggi untuk memberikan daya yang cukup pada kapal. Hal ini mengakibatkan penggunaan bahan bakar yang besar dan biaya operasional yang lebih tinggi. Konsumsi bahan bakar berpengaruh pada efisiensi energi rata-rata indeks operasional kapal (Yuan, Wang and Peng, 2023). Oleh karena itu, di tengah meningkatnya kesadaran akan isu-isu lingkungan dan harga energi yang fluktuatif, industri pelayaran semakin mencari alternatif sumber energi yang lebih berkelanjutan dan efisien untuk mengatasi kelemahan yang terkait dengan penggunaan minyak bahan bakar.

Untuk mengatasi berbagai kelemahan di atas dapat digunakan teknologi *combined gas turbine cycle* (siklus turbin gas gabungan) dan *carbon dioxide cascade* (aliran karbon dioksida). Teknologi ini berupa sistem yang digunakan untuk menghasilkan daya propulsi dan listrik pada kapal dengan efisiensi tinggi dan kinerja yang baik. Ini melibatkan penggunaan dua tahap utama, yaitu turbin gas dan turbin uap, untuk memenuhi kebutuhan daya kapal. Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang penggunaan teknologi ini di kapal: (i) Turbin Gas: Sistem CGT (*combined gas turbine*) pada kapal dimulai dengan penggunaan turbin gas sebagai sumber daya utama untuk menghasilkan daya propulsi. Turbin gas digerakkan oleh pembakaran bahan bakar, seperti gas alam atau bahan bakar diesel yang dilakukan di dalam ruang bakar kapal. Energi yang dihasilkan oleh turbin gas digunakan untuk menggerakkan poros kapal dan baling-baling untuk menciptakan daya dorong yang diperlukan untuk menggerakkan kapal melalui air. Banyak peneliti menggarisbawahi bahwa ruang pembakaran memiliki energi tertinggi dalam proses pembangkitan listrik untuk siklus turbin gas (Khan and Tlili, 2019). (ii) Pemanasan Uap: Gas panas yang keluar dari turbin gas digunakan untuk memanaskan air dalam penukar panas. Air ini berubah menjadi uap pada tekanan tinggi dan suhu yang tinggi. Pemanasan uap ini membantu mengoptimalkan pemanfaatan energi dan

meningkatkan efisiensi proses. Proses subsistem uap memiliki fungsi untuk mempertahankan suhu uap agar tetap stabil untuk digunakan (Gardner *et al.*, 2000).

(iii) Turbin Uap: Uap yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan turbin uap, yang juga terhubung ke generator. Turbin uap ini mengonversi energi uap menjadi energi mekanik yang digunakan untuk menghasilkan listrik. Daya listrik ini dapat digunakan untuk memasok kapal dengan kebutuhan listriknya. Pada sebuah penelitian dilakukan sebuah proses, salah satu proses tersebut adalah uap CO<sub>2</sub> mengembang dan mengeluarkan kerja mekanis di turbin, dan CO<sub>2</sub> buangan melepaskan panas di sisi panas *recuperator*. (Jiang *et al.*, 2023).

(iv) Keuntungan Efisiensi: Teknologi CGT pada kapal memiliki keuntungan utama dalam hal efisiensi. Dengan menggabungkan turbin gas dan turbin uap, kapal dapat memanfaatkan panas buangan dari turbin gas untuk menghasilkan lebih banyak daya. Hal ini memaksimalkan efisiensi penggunaan bahan bakar dan mengurangi emisi karbon, membuatnya lebih ramah lingkungan. Efisiensi ini dibuktikan dari peningkatan selama beberapa dekade terakhir, sekitar 20% untuk *combined cycle* (Yin and Rao, 2020).

Studi mengenai teknologi ini belum banyak diteliti dan pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Budiyanto, Nasruddin and Nawara, 2020) membahas tentang teknologi ini namun dengan dua objektif yaitu efisiensi termal dan efeknya terhadap lingkungan. Penelitian yang dilakukan oleh Budiyanto dkk melakukan simulasi pada aplikasi EES, SimaPro, dan Matlab dengan multi-objektif *exergo-environmental*, dan menghasilkan efisiensi *exergo-environmental* sebesar 30%. Pada penelitian ini berfokus pada objektif yang berbeda yaitu efisiensi termal dan efisiensi *exergy*. Oleh karena itu, dengan berfokus pada 2 variabel ini, efisiensi termal dan efisiensi *exergy* diharapkan dapat lebih maksimal sehingga angka yang dihasilkan lebih tinggi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan di atas maka perumusan masalah dalam penulisan skripsi ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh *combined gas turbine cycle* dan *carbon dioxide cascade* pada kapal sebagai sumber energi?

2. Berapa efisiensi penggunaan *combined gas turbine cycle* dan *carbon dioxide cascade* pada kapal sebagai sumber energi?
3. Bagaimana bentuk sistem *combined gas turbine cycle* dan *carbon dioxide cascade* pada kapal sebagai sumber energi?

### 1.3 Batasan Masalah

Agar analisa dalam skripsi ini dapat fokus, maka akan dibatasi permasalahannya sebagai berikut:

1. Studi ini tidak mempertimbangkan konsumsi bahan bakar, desain kapal, dan efek terhadap lingkungan.
2. Studi ini hanya berfokus pada sistem termodinamikanya.
3. Studi ini tidak mempertimbangkan keekonomisan dari sistem *combined gas turbine cycle* dan *carbon dioxide cascade*.
4. Studi ini tidak mempertimbangkan material setiap komponen mesin.

### 1.4 Hipotesis

Penggunaan fluida kerja R717 pada sistem *combined gas turbine cycle* dan *carbon dioxide cascade* pada kapal *HZ LNG CARRIER* menghasilkan efisiensi termal dan efisiensi *exergy* tertinggi.

### 1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung *enthalpy* pada setiap komponen mesin (kompresor, turbin, *heater*, pompa, dan *condenser*) yang ada pada skema mesin dengan variasi tekanan dan temperatur terhadap fluida kerja metana, karbon dioksida, R290 dan R717.
2. Menghitung *entropy* pada setiap komponen mesin (kompresor, turbin, *heater*, pompa, dan *condenser*) yang ada pada skema mesin dengan variasi tekanan dan temperatur terhadap fluida kerja metana, karbon dioksida, R290 dan R717.
3. Menghitung energi total dari *combined gas turbine cycle* dan *carbon dioxide cascade* yang ada pada skema mesin terhadap variasi tekanan dan temperatur fluida kerja metana, karbon dioksida, R290 dan R717.

4. Menghitung efisiensi termal dan efisiensi *exergy* dari *combined gas turbine cycle* dan *carbon dioxide cascade* yang ada pada skema mesin terhadap variasi tekanan dan temperatur fluida kerja metana, karbon dioksida, R290 dan R717.

## 1.6 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mengembangkan ilmu pengetahuan di bidang teknik perkapalan.
2. Menambah wawasan terhadap penggunaan *combined gas turbine cycle* dan *carbon dioxide cascade*.
3. Menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Sistem penulisan yang penulis gunakan dalam penyusunan penelitian ini adalah:

### BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

### BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi mengenai teori-teori pendukung dan landasan awal yang bertujuan untuk mempermudah proses penelitian.

### BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi diagram alir penelitian, identifikasi dan perumusan masalah, studi literatur, dan pengumpulan data.

### BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi penjelasan hasil dari penelitian menggunakan aplikasi EES agar tujuan dari penelitian dapat tercapai.

### BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan hasil penelitian dan analisis yang

didapatkan serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.