

BAB 1

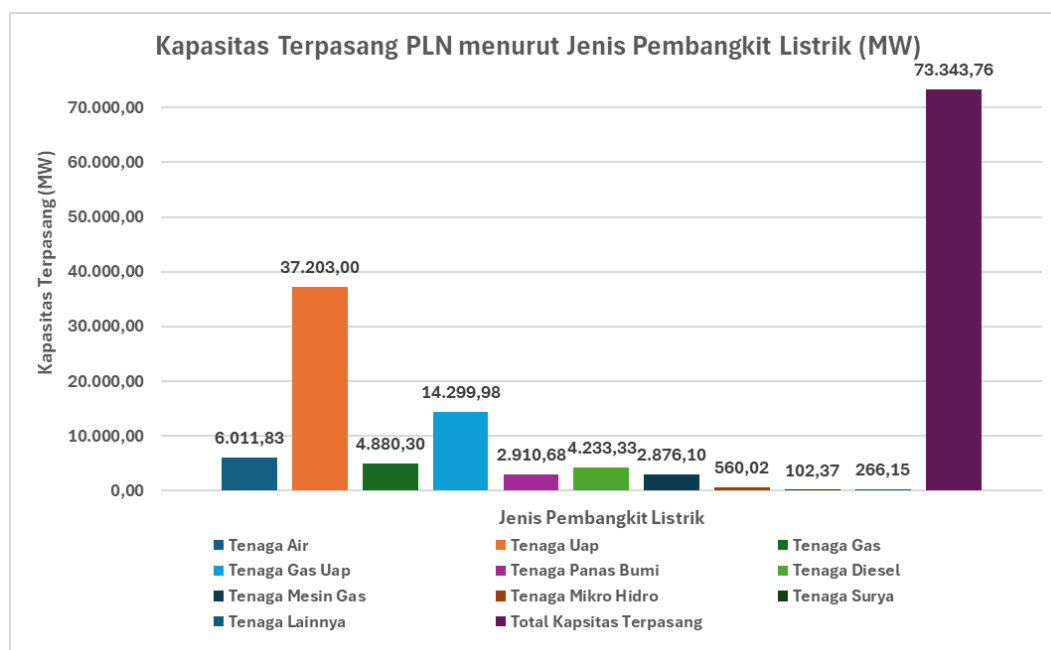
USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah

Siklus Rankine sering digunakan dalam berbagai aspek kehidupan sehari-hari, terutama karena dianggap sebagai siklus yang optimal dalam operasional Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Siklus ini berfungsi dengan mengonversi energi panas menjadi energi kerja. Secara umum, siklus Rankine terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu kompresi isentropik di pompa, penambahan panas secara isobarik dalam boiler, ekspansi isentropik pada turbin, serta pelepasan panas secara isobarik di kondensor [1].

Berdasarkan, Pasal 1, ayat (1) Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 15 Tahun 2019 tentang Baku Mutu Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Termal, disebutkan bahwa PLTU adalah suatu kegiatan yang memproduksi tenaga listrik dengan menggunakan bahan bakar padat, cair, atau gas untuk memanaskan air dalam ketel uap yang memproduksi uap untuk menggerakkan turbin yang terhubung dengan generator sehingga dapat membangkitkan tenaga listrik [2].

PLTU merupakan pemasok listrik terbesar yang digunakan di Indonesia saat ini. Pada Laporan Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa kapasitas terpasang Pembangkit Listrik Negara (PLN) pada 2022 mencapai 73.343,76 Megawatt. Sumber pembangkit listrik tersebut didominasi oleh PLTU yang angkanya mencapai 37.203 Megawatt. Dengan kata lain, 50,72% dari total kapasitas terpasang pembangkit listrik Indonesia berasal dari PLTU [3].



Gambar 1. 1 Grafik Kapasitas Terpasang PLN menurut Jenis Pembangkit Listrik (MW)[3]

Boiler merupakan salah satu komponen utama PLTU, selain pompa, turbin dan kondensor [4]. Alat ini merupakan sebuah bejana tertutup yang digunakan untuk mengubah air di bawah tekanan menjadi uap dengan penerapan kalor. Fungsi utama *boiler* adalah mengkonversi energi yang terkandung di dalam bahan bakar menjadi kalor melalui proses pembakaran dan menghasilkan uap pada tekanan di atas atmosfer melalui penyerapan kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar [5].

Kebutuhan akan sarana dan prasarana untuk menyokong pemahaman dan pengetahuan menjadi peran penting di dalam bidang pendidikan. Peran penting alat edukasi tertuang di dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional, yaitu setiap satuan pendidikan formal dan non formal menyediakan sarana dan prasarana yang memenuhi keperluan pendidikan sesuai dengan pertumbuhan dan perkembangan potensi fisik, kecerdasan intelektual, sosial, emosional, dan kewajiban peserta didik [6].

Sarana edukasi berupa alat praktikum siklus Rankine memiliki relevansi yang penting dalam konteks pemahaman dan penerapan hukum termodinamika. Hal ini karena siklus Rankine merupakan prinsip fundamental yang digunakan dalam PLTU. Perancangan alat praktikum mengenai siklus Rankine menjadi penting mengingat PLTU mendominasi sebagian besar infrastruktur pembangkit listrik di Indonesia [2].

1.2 Analisa Masalah

Dalam proses perancangan ini, terdapat analisa masalah yang dilakukan meliputi beberapa aspek. Berikut adalah aspek yang diusulkan dari perancangan alat ini.

1.2.1 Aspek Pendidikan

Inti permasalahan yang ada adalah kurangnya sarana edukasi berupa alat praktikum untuk meningkatkan pembelajaran mengenai siklus Rankine di program studi S1 Teknik Fisika Telkom University. Sedangkan dalam proses pembelajaran, konsep siklus rankine banyak dipelajari, seperti pada mata kuliah Termodinamika Teknik, Analisis Termal, dan Teknik Konversi Energi.

Pada perancangan ini, mahasiswa diharapkan dapat meningkatkan pemahaman dalam proses pembelajaran mengenai *boiler* yang merupakan salah satu bagian penting dari prinsip dasar siklus Rankine. Di sisi lain, *boiler* skala kecil, khususnya untuk kebutuhan edukasi belum banyak beredar di pasaran.

1.2.2 Aspek Keberlanjutan (*Sustainability*)

Sistem siklus Rankine memiliki empat komponen penting, yaitu pompa, *boiler*, turbin, dan kondensor [4]. Permasalahannya, untuk merancang keempat komponen tersebut tidak mudah dilakukan secara bersamaan, apalagi dalam jangka waktu yang terbatas. Komponen tersebut perlu dirancang satu demi satu untuk menciptakan sebuah sistem siklus Rankine utuh. Oleh karena itu, komponen pertama yang perlu dibangun pada proses ini adalah *boiler*.

Boiler merupakan salah satu komponen utama di dalam siklus Rankine. Dengan dilakukannya perancangan *boiler* ini memiliki aspek keberlanjutan untuk membantu menciptakan suatu sistem siklus Rankine yang utuh sebagai sarana edukasi pada perancangan berikutnya. Dengan kata lain, langkah awal telah diambil untuk membangun sistem siklus Rankine secara utuh sebagai alat edukasi di program studi S1 Teknik Fisika Telkom University.

1.2.3 Aspek *Manufacturability*

Komponen yang digunakan pada rancang bangun prototipe ini meliputi *boiler*, kompor LPG, pipa *superheater*, tangki pengisian air, dan pompa. Selain itu, sistem yang dikembangkan melibatkan penggunaan *microcontroller* dan sensor untuk digunakan sebagai sistem kontrol dan sistem instrumentasi. Sistem kontrol digunakan untuk mengontrol volume air dalam *boiler*. Adapun sistem instrumentasi digunakan untuk menampilkan nilai suhu dan tekanan. Penambahan pipa *superheater* memungkinkan keluaran uap mencapai uap *superheated*.

1.2.4 Aspek Lingkungan

Selain karena praktis dan efisien, penggunaan LPG sebagai bahan bakar pada perancangan ini ialah karena ramah terhadap lingkungan. Salah satu kelebihan penggunaan LPG adalah proses pembakarannya tidak menghasilkan asap dan tidak berbau [7].

1.2.5 Aspek Praktis

Kepraktisan merupakan suatu objek penting yang harus ada dalam proses edukasi. Penggunaan kompor LPG konvensional dalam perancangan ini bertujuan untuk kemudahan dalam pengoperasian. Dengan demikian, alat ini dapat menjadi sarana edukasi yang efisien. Selain itu, penambahan sistem kontrol berupa level air turut menambah kemudahan dalam pengoperasian.

1.3 Analisa Solusi yang Ada

Pada perancangan ini, topik utamanya ialah tentang boiler skala kecil. Umumnya, boiler skala kecil memiliki kapasitas di bawah 20.000 kg/jam [8]. Terdapat perancangan sebelumnya yang dilakukan oleh Muhammad Satria Putra (2024) dan Desi Aratri Damanik, dkk (2022) [9][10]. Berikut adalah analisa solusi yang ada meliputi *strength*, *weakness*, dan *limitation*.

Tabel 1. 1 Analisa Solusi yang Ada

Peneliti	Tipe Boiler	Strength	Weakness	Limitation
M. Satria Putra (2024)	Firetube	• Efisiensi <i>boiler</i> sangat tinggi untuk jenis <i>firetube</i>, yaitu sebesar 70% • Konstruksinya kokoh sehingga daya tahan tinggi • Sistem yang dibangun kompleks, komponen yang ditanam pada <i>boiler</i> sangat lengkap, terdapat Ekonomizer, lorong api, dll. • Sistem yang dibangun dipastikan aman karena menggunakan perhitungan ASME untuk menentukan ketebalan komponennya	• Ukurannya yang besar membutuhkan biaya perancangan yang mahal • Keluaran kualitas uap yang dihasilkan berupa uap jenuh • Tidak adanya termometer untuk mengukur suhu air yang masuk ke <i>boiler</i> • Sistem pengukuran level air kurang akurat karena hanya menggunakan gelas penduga • Tidak dilengkapi sistem kontrol level air	• Tekanan kerja maksimum mencapai 4 bar • Suhu air dalam <i>boiler</i> mencapai 140°C • Kapasitas <i>boiler</i> sebesar 60 kg/jam
Peneliti	Tipe Boiler	Strength	Weakness	Limitation
Desi Aratri, dkk (2022)	Watertube	• Efisiensi <i>boiler</i> lumayan tinggi untuk jenis <i>watertube</i>, yaitu sebesar 65,58% • Keluaran uap berupa <i>superheated</i> dengan temperatur sebesar 245,72°C • Sistem yang dibangun dipastikan aman karena menggunakan perhitungan ASME untuk menentukan ketebalan komponennya	• Perawatan jangka panjang lebih sulit karena konstruksi <i>tube</i>-nya rumit • Tidak dilengkapi dengan sistem kontrol level air • Tidak adanya termometer di bagian <i>boiler</i> untuk mengukur suhu air • Tidak adanya termometer untuk mengukur suhu air yang masuk ke <i>boiler</i> • Sistem pengukuran level air kurang akurat karena hanya menggunakan gelas penduga • Tidak dilengkapi sistem kontrol level air	• Tekanan kerja maksimum mencapai 3 bar • Kapasitas <i>boiler</i> sebesar 14,6 kg/jam • Temperatur keluaran sebesar 245,72°C

1.4 Kesimpulan dan Ringkasan CD-1

Kebutuhan akan sarana edukasi untuk menyokong pemahaman dan pengetahuan memiliki peranan kunci. Sarana edukasi berupa alat praktikum siklus Rankine memiliki relevansi yang penting, mengingat siklus Rankine merupakan konsep dasar dari PLTU yang mendominasi sebagian besar infrastruktur pembangkit listrik di Indonesia. Pemahaman yang kuat tentang konsep siklus Rankine adalah kunci dalam keberlangsungan PLTU.

Perancangan alat praktikum untuk siklus Rankine ini merupakan tanggapan terhadap kurangnya sarana edukasi di program studi S1 Teknik Fisika Telkom University. Dengan fokus

pada pengembangan *boiler*, alat ini memiliki aspek pendidikan, yaitu untuk meningkatkan pemahaman mahasiswa tentang konsep siklus Rankine. Proyek ini juga mengintegrasikan aspek keberlanjutan sebagai langkah awal dalam menciptakan sistem siklus Rankine yang utuh sebagai sarana edukasi. Dengan memperhatikan aspek *manufacturability*, dilakukan implementasi sistem kontrol level air dan sistem instrumentasi, serta penambahan pipa *superheater* untuk menghasilkan keluaran berupa uap *superheated*. Perancangan ini juga mencakup aspek praktis dengan mempertimbangkan penggunaan bahan bakar gas LPG sebagai sumber kalor.

Terdapat perancangan *boiler* sebelumnya yang merupakan solusi yang ada. Berdasarkan analisa solusi yang ada, perancangan tersebut memiliki *strength* berupa efisiensi dan kapasitas *boiler* yang besar, *weakness* berupa tidak adanya termometer pada tangki *boiler*, konstruksi rumit, dan biaya yang besar, serta *limitation* berupa tekanan kerja maksimum 4 bar, suhu air 140°C, dan keluaran uap jenuh.