

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

*Net Zero Emission* (NZE) atau nol emisi karbon adalah kondisi ketika jumlah karbon yang dilepaskan ke atmosfer tidak melebihi jumlah emisi yang mampu diserap oleh bumi (Kementrian ESDM, 2022). Untuk mencapainya diperlukan upaya untuk mengurangi produksi emisi karbon yang dihasilkan dari berbagai aktivitas. Batu bara merupakan kontributor utama terhadap akumulasi CO<sub>2</sub> di atmosfer. Studi terdahulu menyebutkan bahwa pengurangan konsumsi batu bara, dapat berdampak pada berkurangnya emisi karbon secara signifikan dan menjamin keberlanjutan lingkungan hidup (Jiang and Sun, 2023). Berbagai cara dapat dilakukan untuk meminimalisir konsumsi bahan bakar batu bara, salah satunya adalah dengan mencampur batu bara dengan bahan bakar alternatif lainnya atau yang dikenal dengan istilah *co-firing*.

*Co-firing* atau yang disebut juga dengan *co-combustion* adalah proses pembakaran dua jenis bahan bakar yang berbeda dalam suatu sistem pembakaran yang sama (Suganal and Hudaya, 2019). Metode ini umumnya dilakukan dengan cara memadukan batu bara dengan bahan bakar alternatif lainnya. Keunggulan dari sistem *co-firing* adalah mudah diterapkan pada *boiler* tanpa perlu melakukan modifikasi yang signifikan (Verma *et al.*, 2017). Dari sisi ekonomi *co-firing* diketahui juga dapat menurunkan biaya bahan bakar *boiler* (Arifin *et al.*, 2023). Disisi lain, terdapat studi yang menyatakan bahwa dengan menerapkan *co-firing* dapat meningkatkan efisiensi *boiler* (Eteruddin *et al.*, 2021). Disamping itu, penerapan *co-firing* juga sejalan dengan target pemerintah yang telah diatur dalam Permen ESDM nomor 12 tahun 2023. Peraturan ini berlaku bagi para pemegang usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum maupun untuk kepentingan sendiri. Adapun target implementasi *co-firing* adalah 10% untuk unit yang berlokasi didalam pulau Jawa dan Bali serta 20% untuk yang berlokasi diluar

pulau Jawa dan Bali (RUPTL PLN 2021-2030). Peraturan ini bisa dijadikan acuan untuk menerapkan metode *co-firing* pada masing-masing industri.

Industri hilir pengolahan minyak kelapa sawit adalah industri yang bergerak pada proses pemurnian minyak mentah kelapa sawit dan turunannya. Salah satu produk dari turunan minyak sawit yang diproduksi adalah biodiesel. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif dari minyak nabati yang memiliki karakteristik sama seperti solar sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk kendaraan bermesin diesel. Biodiesel sendiri terdiri dari campuran *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) yang disintesis melalui transesterifikasi minyak dan lemak dengan alkohol rantai pendek (Julianti *et al.*, 2014). Proses ini menghasilkan suatu produk samping berupa endapan yang disebut dengan *Steryl Glucosides* (SG) (Peiru *et al.*, 2015). Senyawa SG tersebut dapat memberikan dampak penyumbatan pada filter dan kegagalan mesin, sehingga dilakukan proses penyaringan menggunakan media absorban dengan tujuan untuk mengurangi senyawa SG yang terkandung pada produk FAME (Na-Ranong *et al.*, 2015). Media absorban yang digunakan adalah *filter aid* selulosa yang diproduksi dengan sulfit atau sulfat kayu keras. Proses penyaringan tersebut akan menghasilkan residu yang berbentuk padatan (*residual cake*) (Barry, 2015). *Residual cake* tersebut merupakan *filter aid* selulosa yang bercampur dengan senyawa SG dan sudah tidak dipergunakan kembali.

Seiring berjalannya produksi FAME, jumlah *residual cake* SG juga semakin meningkat. Untuk mengantisipasi penumpukan yang berlebihan, *residual cake* SG tersebut kemudian dialihkan ke pihak ketiga secara rutin. Proses ini memerlukan sejumlah biaya untuk pihak ketiga yang melakukan pemindahan *residual cake* SG. Disisi lain, hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa *residual cake* SG memiliki nilai kalor sebesar 6.000-7.000 kcal/kg. Terdapat juga penelitian sebelumnya yang melakukan uji coba nyala api dan lama pembakaran dari campuran arang purun dan SG. Hasilnya menunjukkan bahwa seiring bertambahnya rasio SG maka nyala api akan semakin cepat dan waktu pembakaran akan semakin lama (Heriyani *et al.*, 2021). Berdasarkan hasil tersebut,

menunjukkan bahwa *residual cake* SG memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar *co-firing* pada *boiler*.

Selain itu karakteristik SG lainnya adalah berbentuk padatan dengan titik leleh berkisar 240 °C. Hal ini berarti SG tidak mudah mencair lebih mirip dengan biomasa dibandingkan minyak biasa. SG memiliki struktur rantai hidrokarbon panjang yang mana memiliki densitas energi yang besar (Haryono *et al.*, 2025). Adanya kandungan energi yang besar dari SG, dapat berpotensi meningkatkan nilai kalor bahan bakar *co-firing*. Meningkatnya nilai kalor bahan bakar, akan mempengaruhi energi yang dihasilkan oleh *boiler*. Hal ini juga akan mempengaruhi nilai efisiensi serta biaya bahan bakar dari *boiler*. Oleh sebab itu, penelitian ini juga akan mengkaji efek dari *co-firing residual cake* SG terhadap efisiensi dan biaya bahan bakar *boiler*.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari *residual cake* SG yang digunakan sebagai bahan bakar *co-firing* pada *boiler*. Pengujian dilakukan menggunakan metode *direct co-firing* yaitu dengan cara mencampur bahan bakar primer dan sekunder secara langsung lalu memasukkannya kedalam ruang bakar *boiler* (Roni *et al.*, 2017). Dalam hal ini SG berperan sebagai bahan bakar sekunder, pengujian dilakukan secara bertahap hingga mencapai target rasio yaitu batu bara:SG (80%:20%) secara berat (RUPTL PLN 2021-2030). Penelitian diawali dengan mengkaji pengaruh dari setiap rasio *co-firing* terhadap proses pembakaran yang terjadi pada ruang bakar *boiler*. Kemudian penelitian dilanjutkan dengan kajian terkait efisiensi dan biaya bahan bakar *boiler* yang diperoleh dari masing-masing rasio *co-firing*. Selain itu, dilakukan juga analisis tambahan terkait penurunan emisi karbon yang dihasilkan dari masing-masing rasio *co-firing*. Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat berupa rekomendasi dari penerapan *residual cake* SG sebagai bahan bakar *co-firing boiler* di industri hilir pengolahan minyak kelapa sawit.

## **1.2. Perumusan Masalah**

1. Bagaimana pengaruh rasio *co-firing residual cake steryl glucoside* terhadap pembakaran dari *boiler*?
2. Bagaimana pengaruh *co-firing* menggunakan *residual cake steryl glucoside* terhadap efisiensi *boiler*?
3. Bagaimana pengaruh rasio *co-firing residual cake steryl glucoside* terhadap biaya bahan bakar?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

1. Menganalisis pengaruh rasio *co-firing residual cake steryl glucoside* terhadap pembakaran dari *boiler*.
2. Menganalisis pengaruh rasio *co-firing residual cake steryl glucoside* terhadap efisiensi *boiler*.
3. Menganalisis pengaruh rasio *co-firing residual cake steryl glucoside* terhadap biaya bahan bakar

## **1.4. Manfaat Penelitian**

1. Bagi perusahaan tempat dilakukan penelitian ini adalah dapat memanfaatkan *Residual Cake Steryl Glucoside* sebagai bahan bakar *co-firing* untuk *boiler*, serta mengetahui pengaruh bahan bakar tersebut terhadap efisiensi dan biaya bahan bakar yang dihasilkan.
2. Dengan dilakukannya uji kualitas dari *Residual Cake Steryl Glucoside* maka dapat diketahui karakteristik dari bahan bakar tersebut dan nilai manfaatnya. Hal ini dapat dijadikan sebagai referensi atau landasan teori oleh ilmuwan untuk penelitian selanjutnya.

### 1.5. Originalitas Penelitian

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan penggunaan *Steryl Glucoside* (SG) dan *co-firing boiler* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1.1 Ringkasan penelitian terdahulu

| No. | Peneliti /Tahun     | Judul Penelitian                                                                                      | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Gap Analisis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Heryani, dkk (2021) | Kajian Sinergitas Agroindustri Kelapa Sawit dan Usaha Mikro Kecil untuk Memproduksi Energi Terbarukan | Penelitian ini mengkaji tentang karakteristik pembakaran dari campuran bahan bakar arang purun dan <i>Steryl Glucoside</i> (SG). Hasil yang diperoleh adalah nilai kalor bahan bakar semakin meningkat seiring bertambahnya rasio SG. Selain itu diketahui juga bahwa seiring bertambahnya rasio SG waktu nyala api semakin cepat dan waktu pembakaran semakin lama. | Penelitian ini hanya mengkaji karakteristik dari bahan bakar arang purun dan <i>Steryl Glucoside</i> (SG) (nilai kalor, waktu nyala api, lama pembakaran dsb). Penelitian masih dilakukan pada skala laboratorium. Senyawa SG yang digunakan dalam fasa cair yang berasal dari endapan <i>Fatty Acid Methyl Ester</i> (FAME). |
| 2   | Sidiq, (2022)       | Pengaruh <i>Co-Firing</i> Biomassa                                                                    | Penelitian ini mengkaji tentang pengaruh dari <i>co-</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Penelitian hanya mengkaji perlakuan <i>co-firing</i> pada                                                                                                                                                                                                                                                                     |

|   |                   |                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                  |
|---|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                   | Terhadap Efisiensi Boiler PLTU Batu Bara                                                                                                 | <i>firing</i> terhadap efisiensi <i>boiler</i> pada PLTU batu bara. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa <i>co-firing</i> biomassa dengan persentase 1% tidak memiliki perbedaan yang signifikan terhadap efisiensi <i>boiler</i> , jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar batu bara ( <i>coal firing</i> ). | persentase $\pm 1\%$ saja. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut pada persentase yang lebih besar untuk dapat melihat lebih lanjut pengaruh <i>co-firing</i> biomassa terhadap efisiensi <i>Boiler</i>                             |
| 3 | Cahyo, dkk (2020) | <i>Performance and Emission Characteristic of Co-Firing of Wood Pellets with sub-Bituminous Coal in a 330 Mwe Pulverized Coal Boiler</i> | Penelitian ini mengkaji tentang karakteristik pembakaran dan emisi dari campuran <i>wood pellets</i> dan batu bara. Hasil yang diperoleh adalah dengan rasio pencampuran <i>wood pellets</i> 5% dapat berdampak pada                                                                                                          | Penelitian ini menggunakan biomassa <i>wood pellets</i> dengan nilai kalor yang lebih rendah daripada batu bara. Dengan kata lain, semakin bertambahnya rasio <i>co-firing</i> , maka nilai kalor bahan bakar secara keseluruhan |

|   |                    |                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                      |
|---|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                    |                                                                                                                         | meningkatnya konsumsi batu bara.                                                                                                                                                                                                                                                                                  | akan semakin rendah.                                                                                                                                                                                                 |
| 4 | Arifin, dkk (2023) | <i>Techno-Economic Analysis of Co-firing for Pulverized Coal Boilers Power Plant in Indonesia</i>                       | Penelitian ini mengkaji tentang tekno ekonomi dari <i>co-firing</i> menggunakan <i>Pulverized Coal Boiler</i> . Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa <i>co-firing</i> berpengaruh terhadap efisiensi <i>boiler</i> . Selain itu harga biomassa berpengaruh pada perubahan biaya bahan bakar <i>boiler</i> . | Penelitian ini menggunakan biomassa yang memiliki nilai kalor lebih rendah dibandingkan dengan batu bara. Hal ini berbeda dengan <i>residual cake</i> SG yang memiliki nilai kalor lebih tinggi dari batu bara.      |
| 5 | Lee, dkk (2022)    | <i>Co-Firing Combustion Characteristics of Woodchips and Spent Mushroom Substrates in a 400 kWth Stoker-Type Boiler</i> | Penelitian ini mengkaji tentang <i>co-firing</i> menggunakan <i>woodchips</i> dan <i>spent mushroom substrates</i> (SMS) pada stoker <i>boiler</i> . Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa                                                                                                                   | Penelitian ini mengkaji tentang penerapan <i>co-firing</i> menggunakan bahan bakar <i>woodchips</i> dan SMS yang mana berbeda hal nya dengan <i>residual cake</i> SG. Dengan demikian, meskipun dilakukan pada jenis |

|   |                            |                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                             |
|---|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                                                                                                        | kedua bahan bakar tersebut dapat digunakan sebagai bahan bakar <i>co-firing</i> pada <i>stoker boiler</i> .                                                                                                                                                                                         | <i>boiler</i> yang sama namun hasil yang diperoleh akan berbeda.                                                            |
| 6 | Khorsidi,<br>dkk<br>(2014) | <i>The Impact of Biomass Quality and Quantity On The Performance and Economics of Co-Firing Plants</i> | Penelitian ini mengkaji terkait dampak <i>co-firing</i> terhadap performa dan ekonomi dari suatu sistem pembangkit. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa meningkatnya kualitas biomassa akan berdampak pada meningkatnya efisiensi sistem dengan sedikit peningkatan biaya produksi listrik. | Penelitian ini menggunakan bahan bakar biomassa berbasis kayu yang mana berbeda kualitasnya dengan <i>residual cake</i> SG. |
| 7 | Siami,<br>dkk<br>(2021)    | Potensi Limbah B3 <i>Spent Bleaching Earth</i> Sebagai                                                 | Penelitian ini mengkaji terkait potensi <i>Spent Bleaching Earth</i> (SBE) untuk                                                                                                                                                                                                                    | Penelitian ini mengkaji potensi pemanfaatan SBE sebagai bahan bakar dari sisi uji                                           |

|   |                       |                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                       | Bahan Bakar Pada Industri Minyak Goreng PT. ABC                                 | diterapkan sebagai bahan bakar. Hasil penelitian menyatakan bahwa SBE berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar dengan cara dicampurkan dengan batu bara.                                                                                                                                                        | laboratorium saja. Penelitian tersebut tidak mengkaji terkait penerapan SBE sebagai bahan bakar <i>co-firing</i> pada unit <i>boiler</i> . Selain itu, SBE juga berbeda karakteristiknya dengan <i>residual cake</i> SG.                                            |
| 8 | Eteruddin, dkk (2021) | <i>Coal Fuel Efficiency with Mixed Palm Shell Biomass for Steam Power Plant</i> | Penelitian ini mengkaji efisiensi dari suatu pembangkit dengan menggunakan <i>co-firing</i> bahan bakar <i>Palm Shell</i> . Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa pencampuran biomassa <i>Palm Shell</i> sebesar 5% dapat meminimalisir biaya produksi sebesar 0,65%. Selain itu, efisiensi <i>boiler</i> juga akan | Penelitian ini menggunakan biomassa <i>Palm Kernel Shell</i> (PKS) yang mana berbeda karakteristiknya dengan SG. Selain itu, tipe <i>boiler</i> yang digunakan adalah CFB <i>boiler</i> yang mana memiliki prinsip kerja yang berbeda dengan stoker <i>boiler</i> . |

|  |  |  |                                                  |  |
|--|--|--|--------------------------------------------------|--|
|  |  |  | meningkat 0,54%<br>( <i>direct efficiency</i> ). |  |
|--|--|--|--------------------------------------------------|--|

Berdasarkan studi literatur terhadap penelitian terdahulu, penerapan *co-firing* pada *boiler* didominasi oleh biomassa berbasis kayu (*wood chip* dan *wood pellet*). Hingga saat ini masih belum ada referensi yang mengkaji terkait biomassa *residual cake* SG untuk diterapkan sebagai bahan bakar *co-firing*. Terdapat salah satu referensi yang mengkaji karakteristik pembakaran dari *Steryl Glucoside* (SG), namun penelitian tersebut hanya dilakukan pada skala laboratorium saja. Selain itu, SG pada dasarnya berbeda dengan *residual cake* SG. SG yang digunakan pada penelitian tersebut adalah endapan cair yang berasal dari *Fatty Acid Methyl Esther* (FAME), sedangkan pada penelitian ini yang digunakan adalah SG yang telah menyatu bersama absorban dari proses filtrasi (*residual cake*). Melalui penelitian ini, diharapkan mampu menjawab kebermanfaatan *residual cake* SG untuk diimplementasikan sebagai bahan bakar sekunder *co-firing* pada *boiler* seperti layaknya bahan bakar biomassa lainnya.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan kajian terkait penerapan *co-firing residual cake* SG pada unit stoker *boiler*. Penelitian yang dilakukan merupakan kajian tahap awal yang meliputi uji pembakaran terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan analisis efisiensi dan biaya bahan bakar. Pengujian dilakukan pada rasio *residual cake* SG 5%, 10% dan 15% secara berat. Luaran dari penelitian ini berupa rekomendasi terkait implementasi rasio *co-firing residual cake* SG kepada industri hilir pengolahan minyak kelapa sawit.