

# Manfaat Ekonomi Dan Kredit Karbon Pabrik Gula Sistem Tertutup Berbasis LCA

Gunawan<sup>1\*</sup>, Rudy Syahputra<sup>2</sup>, Ismaniar Isa<sup>3</sup>, Darmein<sup>4</sup>, Supardin<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe

<sup>5</sup>Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe

\*Koresponden email: gunawan.samin@gmail.com

Diterima: 13 Februari 2024

Disetujui: 27 Maret 2024

## Abstract

Sugar factories (PG) can contribute to efforts to reduce greenhouse gas (GHG) emissions in accordance with the obligations of the Kyoto Protocol and the Paris Agreement. Closed PG systems have the potential to minimise waste and reuse production residues, making them a sustainable solution for reducing environmental impacts and increasing economic benefits. This study models the yield and economic benefits of closed system PG using Life Cycle Assessment (LCA). The aim of this research is to analyse the economic benefits and carbon credits of closed-system sugar production using LCA. The research methodology is descriptive, involving the calculation of carbon credits based on the Kyoto and Paris Agreements. The LCA method is used to assess carbon emissions. The use of bagasse as cogeneration fuel produces an excess of 5 GWh/milling season of electricity, which can meet the electricity needs of 6944 households during the milling season or 3472 households per year. PG X produces 667.5 million liters of clean water during the milling season, which can meet the drinking water needs of 61,805 people throughout the year.

**Keywords:** *carbon credits, LCA, sugar mills, milling season, sugar cane*

## Abstrak

Pabrik gula (PG) sangat berpotensi untuk turut serta dalam usaha menurunkan emisi GRK sesuai dengan kewajiban dari Protokol Kyoto maupun Perjanjian Paris. Sistem tertutup PG berpotensi meminimalkan limbah dan menggunakan kembali sisa-sisa produksi dapat menjadi solusi yang berkelanjutan untuk mengurangi dampak lingkungan serta meningkatkan manfaat ekonomi. Pemodelan rendemen dan manfaat ekonomi PG sistem tertutup berbasis *Life Cycle Assessment* (LCA). Tujuan utama dari penelitian ini adalah menganalisis manfaat ekonomi dan kredit karbon berdasarkan produksi gula sistem tertutup berbasis LCA. Metode penelitian adalah deskriptif dengan menghitung kredit karbon produksi gula sistem tertutup berbasis perjanjian Kyoto dan perjanjian Paris. Penilaian emisi karbon menggunakan metode LCA. Pemanfaatan ampas tebu sebagai bahan bakar kogenerasi menghasilkan kelebihan listrik sebanyak 5 GWh/musim giling, mampu memenuhi kebutuhan listrik sebanyak 6944 rumah tangga selama musim giling atau 3472 rumah tangga per tahun. Produksi air bersih dari PG X sebanyak 667,5 juta liter selama musim giling mampu memenuhi kebutuhan air minum 61805 orang sepanjang tahun.

**Kata kunci:** *kredit karbon, LCA, pabrik gula, musim giling, tebu*

## 1. Pendahuluan

Produksi gula secara tradisional menghasilkan limbah dan polutan yang signifikan, termasuk penggunaan air yang besar, emisi gas rumah kaca, dan limbah organik yang dihasilkan dari proses produksi. Adopsi sistem tertutup yang meminimalkan limbah dan menggunakan kembali sisa-sisa produksi dapat menjadi solusi yang berkelanjutan untuk mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan manfaat ekonomi. Pemanfaatan potensi energi dan air secara optimal proses produksi gula kristal putih (GKP) dapat mengurangi emisi karbon dan digunakan untuk keberlangsungan pabrik gula [1].

Implementasi PG sistem tertutup sangat layak di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan pangan dan energi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pabrik gula dapat dikembangkan menjadi industri berbasis tebu penghasil non energi dan energi yaitu gula, air, listrik dan menjadi pemasok energi pada industri lain atau komersial. Ada berbagai cara dan teknik untuk memecahkan masalah ini seperti penilaian siklus hidup (LCA) dan optimalisasi industri. Teknik-teknik ini termasuk meminimalkan input dengan menghasilkan output yang sama. Pengurangan konsumsi listrik dan dampaknya terhadap lingkungan sangat penting dan berpotensi mengambil manfaat pada perdagangan karbon.

Perdagangan kredit karbon merupakan sebuah pendekatan untuk mengendalikan gas rumah kaca dan emisi karbon dengan memberikan insentif ekonomi bagi mereka yang berhasil menurunkan emisi karbon. Isu lingkungan saat ini menjadi salah satu hambatan perdagangan (Barriers to Trade) untuk penetrasi pasar suatu negara untuk tetap menjaga kelestarian lingkungan dan mengurangi emisi global. *Renewable Energy Directive* (RED) Uni Eropa merupakan suatu langkah dalam rangka untuk mengurangi emisi karbon secara global sebagai upaya untuk menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) [2]. Protokol Kyoto digantikan oleh Perjanjian Paris tentang perubahan iklim yang bertujuan untuk mengurangi emisi GRK dan mencegah pemanasan global. Pabrik gula yang mengganti bahan bakar fosil dengan energi biomassa ampas tebu, pemanfaatan hasil samping blotong dan molase sebagai sumber energi memiliki nilai kredit karbon. Pemodelan rendemen dan manfaat ekonomi pabrik gula sistem tertutup berbasis *Life Cycle Assessment* (LCA). Tujuan utama dari penelitian ini adalah menganalisis manfaat ekonomi sebagai kredit karbon berdasarkan produksi gula sistem tertutup berbasis LCA.

Jumlah produksi gula akan mempengaruhi jumlah emisi yang dihasilkan yang dibatasi dengan alokasi izin emisi (*emissions allowance*) yang diberikan. Jumlah izin emisi karbon yang diberikan secara gratis kepada sebuah perusahaan berdasarkan *benchmark* produk ditunjukkan pada Persamaan 1[3].

$$\text{Free allocation} = \text{Benchmark} \times \text{production data} \times \text{Discount factors} \quad (1)$$

Keterangan:

- *Free allocation*: Jumlah izin emisi karbon yang diberikan secara gratis kepada sebuah perusahaan.
- *Benchmark*: Tingkat emisi karbon yang dianggap sebagai rata-rata tertimbang dari sektor industri tertentu.
- *Production data*: Jumlah produksi atau aktivitas industri suatu perusahaan dalam periode tertentu.
- *Discount factors*: Faktor-faktor yang memperhitungkan efisiensi dalam penggunaan energi atau tindakan pengurangan emisi lainnya yang dilakukan oleh perusahaan.

Berdasarkan sistem *baseline and credit*, sebuah kelompok atau perusahaan yang tidak menganut sistem *cap and trade* (seperti Indonesia) dapat menciptakan kredit dengan mengurangi emisi mereka di bawah tingkat skenario *baseline* (usaha seperti biasa). Salah satu contoh adalah sebuah perusahaan yang menukar bahan bakar fosil (seperti diesel) dengan energi terbarukan (seperti biofuel dari minyak Jarak). *Baseline* untuk perusahaan tersebut adalah emisi dari diesel yang mempunyai keluaran (output) gas-gas rumah kaca yang tinggi. Pada saat diganti dengan biofuel, jumlah emisi jauh lebih rendah dan selisih yang tercatat antara jumlah emisi (karbon) dapat dinyatakan sebagai kredit karbon yang dapat dijual di pasar internasional. Hal ini memberikan insentif bagi pengembangan sumber daya energi terbarukan dan pengurangan emisi.

Pasar karbon menjelaskan bahwa istilah yang seharusnya digunakan adalah hak atas emisi GRK yang dinyatakan dalam ukuran ton CO<sub>2</sub> atau setara yang ekuivalen (ton CO<sub>2</sub>eq), baik hak atas emisi untuk menjual atau membelinya. Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) menjadi angka acuan untuk indeks daya penyebab pemanasan global yang disebut *Global Warming Potential* (GWP). Perdagangan karbon mengacu pada perdagangan emisi primer gas rumah kaca: karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), nitro oksida (N<sub>2</sub>O), hidrofluorokarbon (HFC), perfluorokarbon (PFC), dan Sulfur heksafluorida (SF<sub>6</sub>) [6]. Karbon dioksida, walaupun konsentrasinya paling tinggi di atmosfer, ternyata adalah gas rumah kaca dengan potensi penyebab pemanasan global terendah di antara keenam jenis gas tersebut sehingga menjadi angka acuan untuk indeks daya penyebab pemanasan global yang disebut GWP.

Pabrik gula sangat berpotensi untuk turut serta dalam usaha menurunkan emisi GRK sesuai dengan kewajiban dari Protokol Kyoto maupun Perjanjian Paris. Secara umum untuk mencapai target pengurangan emisi GRK, terdapat dua sistem utama dalam perdagangan karbon, yaitu *cap and trade* dan *baseline and credit*. Dalam sistem *cap and trade*, sebuah otoritas pusat (biasanya sebuah badan pemerintah) menentukan batas atau cap jumlah karbon yang dapat dikeluarkan. Negara dan/atau perusahaan diperbolehkan untuk mengeluarkan gas rumah kaca sampai dengan jumlah yang dibatasi. Apabila emisi karbon lebih tinggi daripada batas tersebut, maka negara/perusahaan tersebut perlu membeli kredit karbon untuk diperhitungkan dengan emisi mereka.

Protokol Kyoto menetapkan tiga mekanisme utama dalam implementasi *trade carbon*, yaitu (a) Implementasi Bersama (*Joint Implementation*) ; (b) CDM (*Clean Development Mechanism* atau Mekanisme Pembangunan Bersih/MPB) ; (c) Perdagangan emisi di mana negara maju menjual gas rumah kaca yang tidak diemisikan ke negara maju lain yang tidak dapat memenuhi kewajiban [4]. Apabila jumlah emisi lebih rendah dari batas yang ditentukan, maka negara/perusahaan tersebut diperbolehkan menjual

selisih antara emisi aktual dan batas yang diizinkan dalam bentuk kredit karbon, dengan demikian mereka memperoleh insentif finansial atas pengurangan emisi.

Penetapan harga karbon terus mendapatkan momentum dan terdapat kemajuan menuju peningkatan pendanaan iklim internasional. Pada KTT One Planet pada bulan Desember 2017 merupakan peringatan kedua penerapan Perjanjian Paris para pemimpin pemerintahan, dunia usaha, dan organisasi internasional, termasuk Presiden Prancis Emmanuel Macron, Sekretaris Jenderal PBB Antonio Guterres, dan Presiden Grup Bank Dunia Jim Yong Kim, berkumpul untuk membahas pendekatan untuk mendukung dan mempercepat upaya global melawan perubahan iklim [5]. Pengumuman ambisius dibuat untuk memajukan penetapan harga karbon di tingkat regional dan nasional, yang menunjukkan kepemimpinan baru, baik dari sektor swasta maupun publik, untuk mendorong agenda iklim ke depan.

## 2. Metode Penelitian

Kredit karbon produksi gula sistem tertutup berbasis perjanjian Kyoto dan perjanjian Paris. Karakterisasi kategori dampak perubahan iklim menghasilkan potensi pemanasan global 100 tahun (GWP) dikalikan dengan faktor karakterisasi spesifik:

- 1)  $\text{CO}_2\text{eq (kg)} = 1 \times \text{CO}_2 \text{ (kg)}$ .
- 2)  $\text{CO}_2\text{eq (kg)} = 25 \times \text{CH}_4 \text{ (kg)}$ , artinya melepaskan 1 kg  $\text{CH}_4$  ke atmosfer setara dengan melepaskan 25 kg  $\text{CO}_2$ .
- 3)  $\text{CO}_2\text{eq (kg)} = 298 \times \text{N}_2\text{O (kg)}$ , artinya melepaskan 1 kg  $\text{N}_2\text{O}$  ke atmosfer setara dengan melepaskan 298 kg  $\text{CO}_2$ .

Kredit Karbon = (Emisi Karbon Tahun A - Target Emisi Karbon Tahun A) x Faktor Pengurangan Emisi  
Keterangan:

- Emisi Karbon Tahun A adalah jumlah total emisi karbon dari semua sumber di suatu negara pada tahun tertentu
- Target Emisi Karbon Tahun A adalah jumlah emisi karbon yang ditetapkan oleh negara tersebut sebagai target yang harus dicapai pada tahun tertentu.
- Faktor Pengurangan Emisi adalah jumlah persentase pengurangan emisi karbon yang diperbolehkan untuk dihitung sebagai kredit karbon.

Data sekunder berasal dari dokumen perusahaan seperti penggunaan bahan baku, energi, mesin dan peralatan setiap tahapan proses produksi, serta berasal dari hasil penelitian yang telah dipublikasikan. Data primer adalah data yang didapat dari wawancara langsung dengan ahli di bidang proses produksi GKP.

Penelitian ini melakukan kajian analisis manfaat ekonomi dari hasil samping pabrik gula menjadi energi dan pengurangan emisi (*trade carbon*) berdasarkan pengukuran emisi GRK ( $\text{CO}_2\text{-eq}$ ) berbasis LCA pabrik gula [6]. Model LCA merupakan model sistem teknis kompleks digunakan untuk menghitung beban lingkungan dan dampak dari aktivitas proses produksi atau jasa.

LCA menitik beratkan pada input material dari lingkungan dan output yang dihasilkan. Pengambilan input material yang berlebihan akan mengakibatkan semakin berkurangnya persediaan di alam, sedangkan hasil keluaran dari sistem industri berupa limbah (padat, cair, dan udara) akan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Hasil LCA menjadi dasar penyusunan rekomendasi perbaikan aspek lingkungan. Menghitung nilai LCA menggunakan penjumlahan bahan baku, energi proses dan limbah.

Pendekatan perhitungan LCA:

$$\underbrace{\sum_i^r (LCI_i \times R_i)}_{\text{Raw material}} + \underbrace{\sum_i^e (LCI_i \times E_i)}_{\text{Process Energy}} + \sum_i^w W_i = \text{LCA}$$

Disposal

Keterangan:

R = Jumlah *raw material*

E = Energi yang digunakan

W = Limbah

## 3. Hasil Dan Pembahasan

### A. Impact indicator berbasis pengukuran emisi GRK ( $\text{CO}_2\text{-eq}$ )

Penggunaan model pabrik gula sistem tertutup sangat memungkinkan diterapkan untuk meningkatkan pendapatan. Sistem tertutup menyediakan kebutuhan air dan energi diperoleh dari lingkungannya sendiri dengan memanfaatkan hasil samping yang terbentuk. Input pabrik berupa tebu,

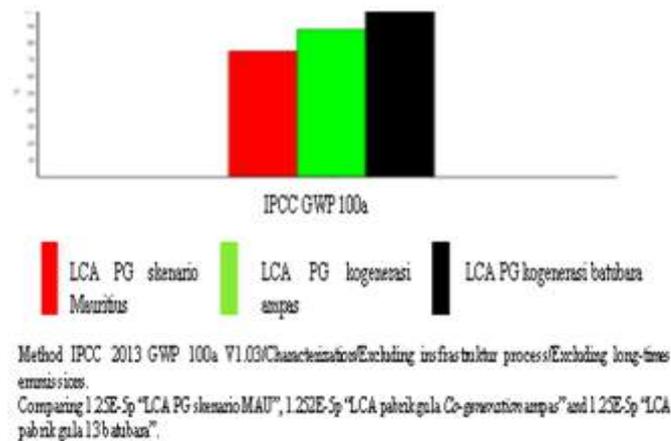
output utama yang dihasilkan berupa gula kristal putih. Hasil samping berupa zat padat, zat cair dan gas CO<sub>2</sub> di kembalikan ke sistem sebagai sumber energi dan air pabrik gula.

Kebutuhan energi terbesar untuk menghasilkan energi listrik yang sama adalah pembangkit listrik diesel diikuti listrik batu bara dan biomassa. Jumlah emisi siklus hidup pembangkit listrik menggunakan batu bara lebih tinggi dari pada diesel dan biomassa. Biomassa sangat berpotensi sebagai bahan bakar pembangkit listrik karena kebutuhan energi rendah dan potensi emisi rendah. Hotspot emisi pabrik gula sistem tertutup ditunjukkan pada **Gambar 1**. Kebutuhan energi dan potensi emisi pembangkit listrik ditunjukkan pada **Tabel 1**.

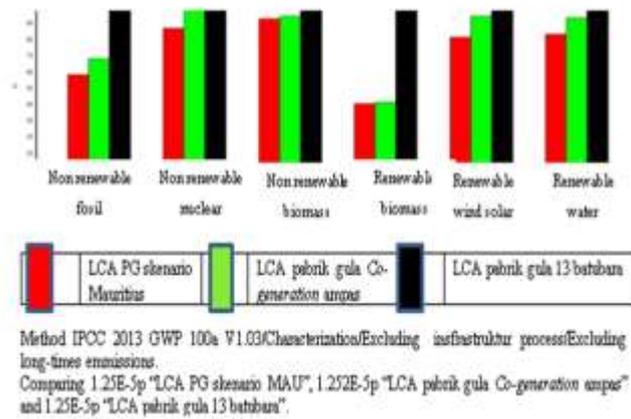
**Tabel 1.** Kebutuhan energi dan potensi emisi pembangkit listrik

Industri pembangkit listrik	Kebutuhan energi per kWh (MJ)	Emisi per kWh (kg CO <sub>2</sub> -eq)
Listrik biomassa	0.18	0.02
Listrik diesel	18.19	1.22
Listrik batu bara	16.13	1.73

Penggunaan biomassa sebagai pengganti diesel dan batu bara pada pembangkit listrik mengurangi emisi CO<sub>2</sub>-eq sebesar 01.2 kg CO<sub>2</sub>/kWh dan 1.7 kg CO<sub>2</sub>/kWh. Biomassa pengganti minyak solar dan batu bara pada pembangkit listrik mengurangi konsumsi energi sebesar 18 MJ/kWh dan 16 MJ/kWh. Perbandingan potensi emisi pabrik gula ditunjukkan pada **Gambar 1**. Perbandingan kebutuhan energi pabrik gula ditunjukkan pada **Gambar 2**.



**Gambar 1.** Perbandingan potensi emisi pabrik gula



**Gambar 2.** Perbandingan kebutuhan energi pabrik gula

Pada **Gambar 1** dan **Gambar 2** menunjukkan bahwa potensi emisi GRK dan potensi kebutuhan energi pada PG kogenerasi ampas tebu lebih rendah dari PG kogenerasi batubara. Demikian juga dengan PG kogenerasi ampas tebu dengan perbaikan efisiensi teknis dan pol tebu lebih rendah dari PG X faktual. Produksi surplus listrik dari ampas tebu dan blotong sebagai bahan bakar, sangat penting untuk mengurangi permintaan energi uap dan pengurangan emisi CO<sub>2</sub> untuk mencegah pemanasan global [7].

Produksi gula memiliki nilai tambah tinggi, uap air berpotensi menjadi air minum, ampas tebu dan blotong menjadi bahan bakar kogenerasi, molase menjadi etanol dapat digunakan untuk sumber energi listrik dan transportasi hijau. Model sistem tertutup menjadi dasar pengembangan aliran proses mandiri energi dan air (*closed production process*) dengan *zerowaste*, agar proses produksi dapat mandiri energi dan air serta penerapan pabrik gula terpadu dengan pembangkit listrik. Pengembangan model sistem tertutup pada produksi gula kristal putih diharapkan menciptakan pabrik gula berkelanjutan sehingga pabrik gula di Indonesia meningkat menjadi industri berbasis tebu yang mampu memanfaatkan semua hasil samping. Implikasi kebijakan sangat penting bagi kelangsungan hidup masa depan sistem energi dari pabrik gula tertutup dalam kaitannya dengan tujuan nasional dan internasional sebagai upaya mengurangi emisi GRK. Berdasarkan evaluasi terhadap analisis dampak dapat diidentifikasi tahapan proses yang signifikan terhadap perubahan lingkungan di pabrik gula. Pabrik gula sangat berpotensi menjadi pabrik sistem tertutup mandiri energi dan air bahkan surplus yang dapat digunakan oleh industri lain [8]. Hal ini dilakukan melalui penerapan sistem terintegrasi pabrik gula dan pembangkit listrik.

PG tertutup mampu mengurangi pelepasan emisi GRK yang berpengaruh pada perubahan iklim. Peningkatan produktivitas melalui perbaikan rendemen adalah dengan mengganti mesin dan perbaikan pol tebu untuk menguatkan daya saing pabrik gula skala regional dan internasional. Penggunaan ampas tebu, blotong dan molase adalah produk samping pabrik gula untuk meningkatkan profit dan menurunkan dampak lingkungan dalam model sistem tertutup. Produk samping pabrik gula ini membantu dalam produksi listrik, bahan bakar, kertas dan bahan kimia organik.

#### B. Manfaat ekonomi hasil samping pabrik gula menjadi energi

Nilai kalor LHV (*lowest heating value*) adalah 4520,88 kJ/kg.[9] dan nilai kalor batubara 31773 kJ/kg [10] menunjukkan bahwa energi 7 kg ampas tebu dapat menggantikan energi 1 kg batu bara. Potensi ampas tebu menggantikan batu bara menghasilkan emisi rumah kaca lebih rendah sehingga mengurangi polusi lingkungan. Kebutuhan listrik dan energi sangat tinggi di pasar. Sebagian besar energi yang digunakan pabrik dipasok dari sistem pembangkit listrik konvensional (batubara, minyak, dan gas). Kebutuhan energi listrik dan uap PG X (5532 TCD) dipenuhi dengan memanfaatkan ampas tebu. Pemanfaatan ampas tebu sebagai bahan bakar kogenerasi menghasilkan kelebihan listrik sebanyak 62 kWh/ton GKP sama dengan 5 kWh/ton tebu setara dengan 27500 kWh/hari sama dengan 5 GWh/musim giling. Asumsi kebutuhan listrik per rumah tangga 4 kWh/hari setara dengan 720 kWh/musim giling. Sehingga kelebihan listrik pabrik gula menggunakan ampas tebu mampu memenuhi kebutuhan listrik sebanyak 6944 rumah tangga selama musim giling atau 3472 rumah tangga per tahun. Manfaat ekonomi pabrik gula dapat ditingkatkan melalui pemanfaatan semua hasil samping lainnya sebagai pembangkit listrik.

Hasil samping PG X berupa blotong dan molase jika dimanfaatkan sebagai sumber energi pembangkit listrik biomassa menghasilkan energi 9240 MJ per ton GKP setara dengan 738011,736 MJ per musim giling sama dengan 205167262.61 kWh per musim giling. Potensi pembangkit listrik biomassa

memenuhi kebutuhan listrik 285 ribu rumah tangga selama musim giling (180 hari) atau 142 ribu rumah tangga selama setahun.

*C. Manfaat ekonomi kelebihan air pabrik gula*

Air merupakan kebutuhan pokok bagi manusia. Sumber air umumnya berasal dari permukaan tanah misalnya air sungai, air danau, sumur dangkal dan PDAM yang sebelum digunakan harus diolah terlebih dahulu. Selain sumber air yang telah disebutkan, pabrik gula berpotensi menghasilkan air bersih. Potensi air berasal dari uap air yang didinginkan menjadi air selama proses pengolahan GKP. Air tersebut masuk ke IPAL untuk digunakan kembali pada pabrik gula. Kelebihan air selama proses di pabrik gula dapat dimanfaatkan melalui proses *water treatment* untuk menghasilkan air bersih layak minum.

Kelebihan air bersih PG X per tahun dari *water treatment* sebanyak 667451,3 ton sama dengan 667,5 juta liter selama musim giling. Kebutuhan air per orang sekitar 30 liter per hari setara dengan 10800 liter per tahun [11]. Dengan demikian produksi air bersih dari PG X mampu memenuhi kebutuhan air minum 61805 orang sepanjang tahun.

*D. Manfaat ekonomi terhadap pengurangan emisi*

Isu lingkungan yang menarik saat ini adalah pemanasan global yang berpengaruh pada perubahan iklim. Negara-negara didorong untuk mengurangi emisi dari semua gas rumah kaca. Tiga jenis gas rumah kaca yang paling penting adalah karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>) dan dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O), yang lainnya adalah hidrofluorokarbon (HFC), perfluorokarbon (PFC), dan sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>). Untuk keperluan standarisasi pengukuran emisi gas rumah kaca dikonversi menjadi potensi pemanasan global yang setara dengan CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>-equivalent). Emisi gas rumah kaca diproduksi melalui industri, sektor energi, pembakaran bahan bakar fosil, dan aktivitas lainnya berkontribusi dalam pemanasan global dan memiliki efek negatif pada lingkungan hidup.

Protokol Kyoto membahas tentang pemanasan global dan perubahan iklim, dan memunculkan konsep *Clean Development Mechanism* (CDM). Salah satu bentuk aplikasi dari CDM adalah *Carbon Trade* (perdagangan karbon) [12]. Perdagangan karbon adalah instrumen kebijakan berbasis pasar yang memungkinkan terjadinya negosiasi dan pertukaran hak emisi gas rumah kaca. Mekanisme ini memungkinkan sektor publik dan swasta berpartisipasi dalam penurunan emisi GRK. CDM merupakan mekanisme Protokol Kyoto yang memungkinkan negara industri dan negara berkembang bekerja sama untuk melakukan pembangunan bersih. Negara industri dapat memenuhi kewajiban pengurangan emisi dengan melakukan proyek pengurangan emisi di negara berkembang dan si negara berkembang mendapatkan kompensasi finansial dan teknologi dari kerja-sama tersebut.

Secara umum, terdapat dua sistem utama dalam perdagangan karbon, yaitu *cap and trade* dan *baseline and credit*. Protokol Kyoto memasukan skema *cap and trade* untuk negara-negara maju dan skema *baseline and credit* untuk proyek-proyek pengurangan emisi di negara-negara berkembang. Indonesia menganut sistem *baseline and credit*, menciptakan kredit dengan mengurangi emisi di bawah tingkat skenario *baseline*. Sistem perdagangan emisi *baseline and credit* merupakan suatu sistem di mana perusahaan dihargai untuk mengurangi polusi karbon di bawah *baseline*. Pengurangan ini menjadi "*credit*" yang dapat diperdagangkan. Kredit karbon dan pasar karbon adalah komponen dari upaya nasional dan internasional untuk mengurangi pertumbuhan konsentrasi gas rumah kaca. Satu kredit karbon sama dengan satu ton karbon dioksida, atau di beberapa pasar, gas setara karbon dioksida.

*Baseline* untuk pabrik gula adalah emisi dari batubara sebagai bahan bakar kogenerasi yang mempunyai keluaran gas rumah kaca yang tinggi. Pabrik gula yang mengganti bahan bakar fosil dengan energi biomassa ampas tebu, juga pemanfaatan hasil samping blotong dan molase sebagai sumber energi memiliki kredit karbon ditunjukkan pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

**Tabel 2.** Kredit karbon pabrik gula PG X

Jenis Pabrik gula	Emisi/tahun (ton CO <sub>2</sub> - eq)	Kredit karbon/tahun (ton CO <sub>2</sub> -eq)
Pabrik gula kogenerasi batu bara	69 422,4	
Pabrik gula kogenerasi ampas tebu	60 326,8	9 095,6

**Tabel 3.** Kredit karbon pembangkit listrik biomassa PG X

Pembangkit listrik	Jumlah emisi/tahun (ton CO <sub>2</sub> -eq)	Kredit karbon/tahun (ton CO <sub>2</sub> -eq)
Pembangkit listrik diesel	250597,4	
Pembangkit listrik biomassa	4828,9	245768,5

Pada saat bahan bakar kogenerasi diganti dengan ampas tebu maka jumlah emisi jauh lebih rendah. Selisih jumlah emisi karbon tersebut dinyatakan sebagai kredit karbon pabrik gula yang kemudian dapat dijual di pasar internasional. Hal ini memberikan insentif bagi pengembangan sumber daya energi terbarukan dan pengurangan emisi.

Perdagangan karbon adalah aplikasi dari pendekatan perdagangan emisi. PG X dengan mengganti sumber energi batu bara dengan menggunakan ampas tebu menghasilkan kredit karbon/tahun sebanyak 9095,6 ton CO<sub>2</sub>-eq. Dengan menggantikan pembangkit listrik diesel menjadi pembangkit listrik biomassa menghasilkan kredit karbon/tahun sebanyak 245768,5 ton CO<sub>2</sub>-eq.

Menurut [5] harga karbon tidak selalu sebanding antara inisiatif penetapan harga karbon karena perbedaan dalam sektor yang dicakup dan metode alokasi yang diterapkan, pengecualian khusus, dan metode kompensasi yang berbeda. Harga karbon bervariasi secara substansial, mulai kurang dari US\$ 1/tCO<sub>2</sub>-eq hingga maksimum US\$ 139/tCO<sub>2</sub>-eq. Terjadi peningkatan harga karbon pada tahun 2018 dibandingkan dengan tahun 2017. Asumsi harga karbon US\$ 5/tCO<sub>2</sub>-eq maka nilai kredit karbon PG X adalah US\$ 45478/tahun. Nilai kredit karbon pembangkit listrik biomassa PG X adalah US\$ 1228842,5/tahun.

Perdagangan karbon (perdagangan kredit karbon) merupakan sebuah pendekatan untuk mengendalikan gas rumah kaca dan emisi karbon dengan memberikan insentif ekonomi bagi mereka yang berhasil menurunkan emisi karbon. Perusahaan yang berpartisipasi dalam mekanisme *baseline and credit* menghasilkan pendapatan dengan melalui kredit karbon dan menjualnya.

#### 4. Kesimpulan

Produksi gula memiliki nilai tambah tinggi, uap air berpotensi menjadi air minum, ampas tebu dan blotong menjadi bahan bakar kogenerasi, molase menjadi etanol dapat digunakan untuk sumber energi listrik. PG X dengan mengganti sumber energi batu bara dengan menggunakan ampas tebu menghasilkan kredit karbon/tahun sebanyak 9095,6 ton CO<sub>2</sub>-eq. Dengan menggantikan pembangkit listrik diesel menjadi pembangkit listrik biomassa menghasilkan kredit karbon/tahun sebanyak 245768,5 ton CO<sub>2</sub>-eq.

#### 5. Referensi

- [1] Gunawan, Rahmawati, and R. Syahputra, "Swa-Sembada Energi dan Air Proses Produksi Gula Tebu," Lhokseumawe, 2020.
- [2] Hermawan, Y. Syahputri, A. S. Aryani, and S. Hasibuan, "Desain Dan Aplikasi Model Pendugaan Beban Lingkungan Industri Gula Kristal Putih," *Semin. Nas. Inform.*, vol. 2020, no. Semnasif, pp. 73–85, 2020.
- [3] C. Nissen, J. Cludius, S. Gores, and H. Hauke, "Trends and projections in the EU ETS in 2022; The EU Emissions Trading System in numbers," 2022. [Online]. Available: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-cm/products/etc-cm-report-2022-05>
- [4] A. Anukam, S. Mamphweli, P. Reddy, E. Meyer, and O. Okoh, "Pre-processing of sugarcane bagasse for gasification in a downdraft biomass gasifier system: A comprehensive review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 66, pp. 775–801, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.08.046.
- [5] C. Ramstein, R. Goyal, S. Gray, and A. C. Kallhauge., *State and Trends of Carbon Pricing 2018*, no. May. 2016. doi: 10.1596/978-1-4648-1001-5.
- [6] Gunawan, Rahmawati, D. Haryani, and Kardiyono, "Implementation of life cycle assessment (LCA) in cane sugar," *2ND Natl. Conf. Math. Educ. 2021 Math. Proof as a Tool Learn. Math.*, vol. 2811, no. August 2011, p. 100006, 2023, doi: 10.1063/5.0122227.
- [7] M. M. Haque, J. C. Biswas, M. Maniruzzaman, M. B. Hossain, and M. R. Islam, "Water management and soil amendment for reducing emission factor and global warming potential but improving rice yield," *Paddy Water Environ.*, vol. 19, no. 3, pp. 515–527, 2021, doi: 10.1007/s10333-021-00851-w.

- [8] Gunawan, T. Bantacut, M. Romli, and E. Noor, "Life Cycle Assessment of Cane-sugar in Indonesian Sugar Mill: Energy Use and GHG Emissions," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 536, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/536/1/012059.
- [9] E. Elfiano, P. Subekti, and A. Sadil, "Analisa Proksimat dan Nilai Kalor pada Briket Bioarang Limbah Ampas Tebu dan Arang Kayu," *J. APTEK*, vol. 6, no. 1, pp. 57–64, 2014.
- [10] W. Gunawan and B. A. Gunawan, "Studi Efisiensi Boiler Terhadap Nilai Kalor Batubara Pada Boiler Jenis Pulverizer Coal Kapasitas 300 T/H," *J. Intent J. Ind. dan Teknol. Terpadu*, vol. 3, no. 2, pp. 122–130, 2020, doi: 10.47080/intent.v3i2.958.
- [11] W. B. Putra, N. I. K. Dewi, and T. Busono, "Penyediaan Air Bersih Sistem Kolektif: Analisis Kebutuhan Air Bersih Domestik pada Perumahan Klaster," *J. Arsit. TERRACOTTA*, vol. 1, no. 2, pp. 115–123, 2020, doi: 10.26760/terracotta.v1i2.4018.
- [12] M. Cames, R. O. Harthan, J. Fussler, M. Lazarus, C. M. Lee, and P. Erickson, *How additional is the Clean Development Mechanism?* 2016.