



Improvisasi Efisiensi Plant Pengolahan LNG PT ABC dengan Pengaturan *Load Factor* Train Berdasarkan Algoritma *Machine Learning*

Titin Irawati^{1*}, Budi Yuwono², dan Rendra Prasetyo³

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³PT Badak NGL, Bontang, Kalimantan Timur 75324

*Corresponding author *E-mail address*: budi.yuwono@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

PT ABC sebagai operator kilang pencairan gas alam melakukan upaya peningkatan efisiensi energi sebagai komitmen terhadap realisasi *Net Zero Emission 2050*. PT ABC menghadapi tantangan berupa penurunan kuantitas dan kualitas gas alam yang diolah sehingga berdampak pada efisiensi kilang. Perubahan tersebut telah menyebabkan penurunan efisiensi kilang dalam lima tahun terakhir. Salah satu parameter signifikan yang memengaruhi efisiensi adalah penggunaan *fuel gas*, yang proporsinya cenderung meningkat seiring berkurangnya *feed gas* yang dicairkan. Konsumsi *fuel gas* dipengaruhi oleh berbagai faktor sehingga sulit diketahui parameter yang paling memengaruhinya. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan diaplikasikannya *feature selection* berbasis *Random Forest Regressor*. Parameter terpilih berupa pembagian laju alir *feed gas* ke masing-masing *process train* tersebut akan digunakan sebagai dasar pemodelan dengan menggunakan regresi linear multivariabel yang membantu memprediksi pola penggunaan energi berdasarkan data historis. Hasil dari model ini akan digunakan untuk mengestimasi konsumsi *fuel gas* sehingga dapat ditentukan jumlah *fuel gas* minimal yang diperlukan untuk kondisi tertentu dengan bantuan *solver*. Improvisasi ini bertujuan untuk menurunkan konsumsi bahan bakar dan emisi gas rumah kaca. Dari hasil evaluasi didapatkan nilai *RMSE*: 0,05 ; *MAE*: 0,04 ; dan *MAPE*: 0,1104 dengan estimasi penghematan bahan bakar sejumlah \$6.051.650 dan pengurangan *CO₂* sejumlah 35.000 ton CO_2eq per tahunnya.

Kata-kata kunci: Efisiensi energi, *Net Zero Emission*, *Fuel Gas*, *Feature selection*, Regresi linear multivariabel

Abstract

PT ABC, as the operator of the natural gas liquefaction plant, faces challenges in the form of declining quantity and quality of processed natural gas in order to achieve *net zero emissions* by 2050. Over the past five years, plant efficiency has decreased. One important factor influencing efficiency is the utilization of *fuel gas*, which tends to increase as the amount of liquefied *feed gas* decreases. It is challenging to determine which factors have the most influence on *fuel gas* consumption due to the many variables involved. To address this issue, *feature selection* based on the *Random Forest Regressor* is used. The selected parameters, specifically the *feed gas* rate proportion for each *process train*, will be utilized as a basis for modeling with multivariable linear regression. The model's results will be used to estimate *fuel gas* consumption, allowing a *solver* to calculate the minimum amount of *fuel gas* required for specific conditions. This modification aims to reduce *fuel* usage and greenhouse gas emissions. Based on the evaluation results, the *MAE* is 0.04, the *RMSE* is 0.05, and the *MAPE* is 0.1104, with estimated *fuel* savings of \$6 million and a *CO₂* reduction of 35,000 tons CO_2eq per year.

Keywords: Energy efficiency, *Net Zero Emission*, *Fuel gas*, *Feature selection*, Multivariable linear regression

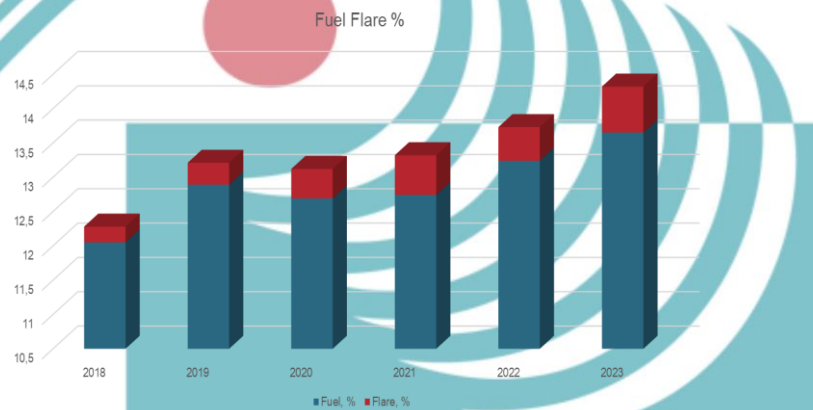
Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pemerintah Indonesia telah menetapkan strategi jangka panjang untuk konsumsi energi rendah karbon dan ketahanan iklim 2050, yang dikenal sebagai Indonesia *Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience 2050* (Indonesia LTS-LCCR 2050)[1]. Strategi ini memfokuskan mitigasi gas rumah kaca pada sektor energi, termasuk sektor hulu. Sebagai operator kilang pencairan gas alam, PT ABC memiliki tanggung jawab dalam mencapai tujuan tersebut melalui upaya peningkatan efisiensi kilang. Upaya tersebut menghadapi kendala akibat penurunan kuantitas dan kualitas *feed gas* yang hendak dicairkan di kilang. Penurunan *feed gas* yang masuk ke kilang menyebabkan penurunan jumlah *process train* yang beroperasi serta efisiensi kilang yang diindikasikan kenaikan *fuel-flare percentage* yang merupakan perbandingan jumlah *losses* berupa *fuel gas* dan kehilangan hidrokarbon lainnya terhadap keseluruhan *feed gas* yang dicairkan dengan nilai berkisar 12 – 14%. Sebagai ilustrasi dari permasalahan ini, Gambar 1 menunjukkan tren *fuel-flare percentage* di PT ABC selama periode 2018 – 2023. Kenaikan persentase tersebut mencerminkan tantangan yang dihadapi PT ABC dalam mempertahankan efisiensi kilang seiring dengan penurunan kualitas dan kuantitas *feed gas*.



Gambar 1. Fuel Flare Percentage PT ABC Periode 2018 – 2023[2]

Fuel gas di PT ABC digunakan sebagai bahan bakar *boiler* untuk menghasilkan *steam* yang berperan sebagai sumber penggerak utama peralatan kilang. Pada praktiknya, sejumlah 65% *steam* digunakan di area *process train* terutama penggerak kompresor refrigeran[3]. Berdasarkan hal tersebut, dengan mengevaluasi dan improvisasi kinerja *process train* diharapkan dapat meningkatkan efisiensi kilang secara keseluruhan. Akan tetapi, hal tersebut menemui kendala dimana banyak parameter yang dapat memengaruhi performa *process train* sehingga memengaruhi jumlah konsumsi *steam*. Kendala tersebut dapat diatasi dengan penerapan *feature selection* dengan algoritma *Random Forest Regressor*. *Random Forest* adalah algoritma *ensemble* yang menggabungkan beberapa pohon keputusan untuk meningkatkan akurasi prediksi dan mengurangi risiko *overfitting*[4]. Pendekatan ini memungkinkan pemilihannya secara efisien, sehingga hanya fitur-fitur yang paling signifikan yang dipertahankan dalam model akhir dengan menganalisis kontribusi setiap fitur terhadap nilai prediksi. Penerapan *feature selection* berbasis *Random Forest* tidak hanya meningkatkan kinerja model, tetapi juga mempercepat proses pelatihan dan interpretasi hasil. Selain itu, model juga dapat dibuat lebih sederhana dan lebih mudah dipahami dengan memfokuskan perhatian pada fitur yang relevan.

Fitur yang telah terpilih tersebut kemudian dimodelkan dengan menggunakan regresi linear multivariabel. Regresi linear multivariabel merupakan salah satu teknik analisis statistik yang digunakan untuk memahami hubungan antara satu variabel dependen dengan dua atau lebih variabel independen. Metode regresi linear multivariabel juga memungkinkan identifikasi dan evaluasi kontribusi masing-masing variabel independen terhadap variabel dependen, serta prediksi nilai variabel dependen berdasarkan kombinasi nilai variabel-variabel tersebut[5]. Salah satu keunggulan metode ini adalah kemampuannya untuk menangani situasi dimana variabel dependen dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berkaitan. Analisis ini tidak hanya memberikan informasi mengenai kekuatan dan arah hubungan antara variabel dalam proses pemodelan, tetapi juga memungkinkan pengontrolan variabel-variabel lain yang mungkin berkontribusi pada variabilitas variabel dependen. Regresi linear multivariabel juga memberikan wawasan yang lebih mendalam dan akurat mengenai faktor-faktor yang memengaruhi

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang menguntkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

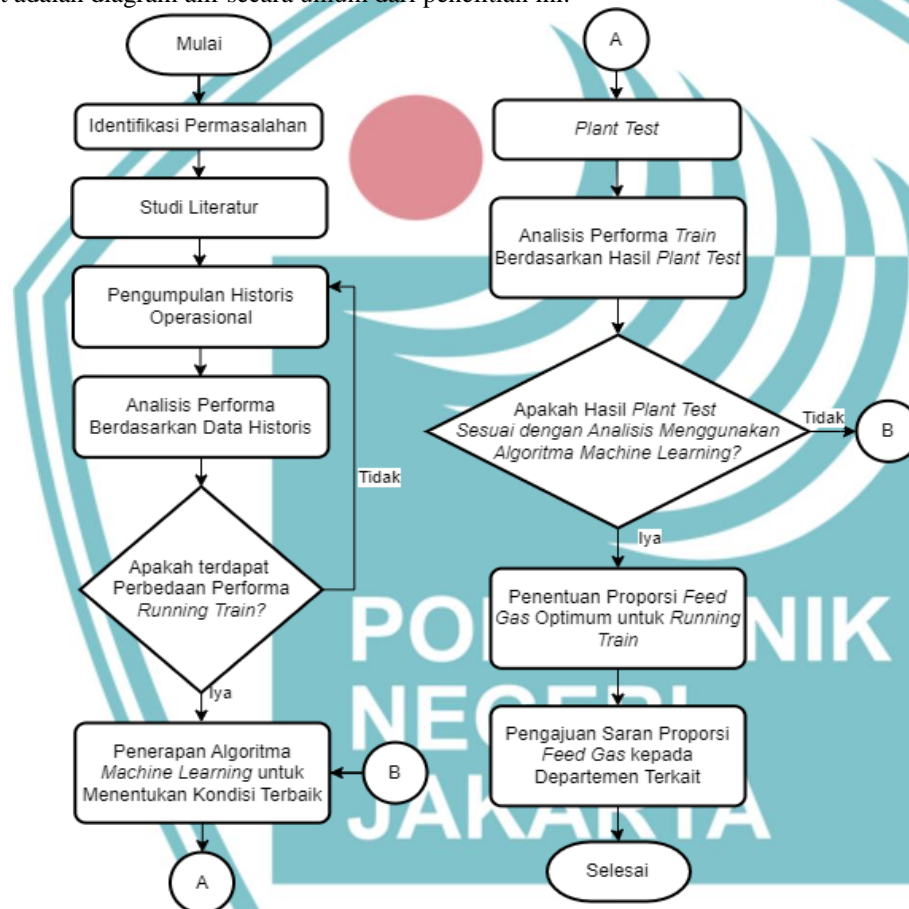
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

fenomena yang diteliti, serta memudahkan interpretasinya. Hasil pemodelan kemudian digunakan untuk mengestimasi konsumsi *fuel gas* minimal yang diperlukan untuk kondisi tertentu, dengan bantuan *solver*. Hasil dari analisis tersebut akan divalidasi dengan dilakukannya *plant test* dengan mengubah parameter yang paling berpengaruh dalam operasional kilang. Dengan improvisasi tersebut diharapkan terjadi kenaikan efisiensi kilang serta penurunan jumlah CO₂ yang diemisikan ke lingkungan.

Secara garis besar, tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui performa spesifik masing-masing *running train* pada laju alir *feed gas* tertentu. Selain itu, penelitian ini juga mengetahui parameter yang berpengaruh sehingga dapat digunakan sebagai dasar pemodelan agar menghasilkan pemodelan prediksi konsumsi *fuel gas* yang representatif. Hasil model tersebut akan dijadikan dasar improvisasi untuk mendapatkan penghematan baik dari sisi ekonomis maupun dari sisi lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

Berikut adalah diagram alir secara umum dari penelitian ini.



Gambar 2. Diagram Alir Pengerjaan

Penjelasan Langkah Kerja

Penjelasan terkait rencana kerja yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Identifikasi Permasalahan
Pada langkah ini dilakukan identifikasi dan pemahaman mengenai permasalahan terkait dengan objek penelitian. Permasalahan yang teridentifikasi ialah perbedaan penurunan efisiensi kilang pencairan gas alam akibat menurunnya *load factor* yang tidak diimbangi dengan penyesuaian proporsi pembebanan terhadap performa masing-masing *train*.
2. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan dengan cara mengumpulkan informasi mengenai parameter apa saja yang memengaruhi performa train di kilang pencairan gas alam. Literatur dapat berupa buku, *e-book*, jurnal, internet, dan literatur yang lainnya. Informasi tambahan juga didapat dengan diskusi dengan tenaga ahli pada bidang terkait.

3.

3. Pengumpulan Data Historis Operasional

Data historis diperlukan sebagai landasan evaluasi kinerja suatu *train* yang berasal dari laporan terdahulu maupun dengan pengambilan secara langsung pada *database system (exaquantum)*. Data komposisi didapat dari hasil analisis laboratorium. Rentang pengambilan data ialah 03 November 2023 – 30 Juni 2024 dengan ketentuan hanya Train G dan Train H saja yang beroperasi.

Analisis Performa Berdasarkan Data Historis

Berdasarkan data historis yang telah dikumpulkan dapat ditentukan train dengan performa yang lebih baik dengan mempertimbangkan beberapa parameter yang telah didapat sebelumnya. Salah satu parameter yang digunakan ialah *steam to feed gas ratio*, *feed gas to LNG ratio*, serta *steam to LNG ratio*. Penggunaan *steam* sebagai salah satu parameter berhubungan dengan ketersediaan instrumentasi yang mengukur secara spesifik konsumsi energi dari masing – masing *running train*.

5.

5. Penerapan Algoritma *Machine Learning* untuk Menentukan Kondisi Terbaik

Berdasarkan hasil evaluasi performa secara statistika, maka akan ditemukan kecenderungan efektivitas dari masing – masing *running train*. Berdasarkan hal tersebut akan dilakukan pengolahan data sehingga dapat disusun model untuk mendapatkan persamaan matematis yang dapat memprediksi konsumsi *fuel gas*. Berdasarkan persamaan tersebut dapat dilakukan perhitungan nilai minimum kebutuhan *fuel gas* pada kondisi tertentu serta dapat menyesuaikan besar pembebanan terhadap performa masing – masing *running train*. Dalam proses analisisnya, pengolahan data dibagi menjadi 5 tahapan yaitu *data cleansing*, *data transformation*, *feature selection*, *data splitting*, dan penerapan algoritma *machine learning* dalam perhitungan proporsi *feed gas*. Pada tahapan *data cleansing*, dilakukan seleksi *outlier* dengan menggunakan *IQR method* dengan nilai yang tidak masuk pada batas atas dan batas bawah akan dihapus keseluruhan kolomnya. Metode IQR mengukur sebaran data dengan mengidentifikasi rentang interkuartil, yaitu selisih antara kuartil pertama (Q1) dan kuartil ketiga (Q3)[6] sebagaimana dinyatakan dalam Persamaan (1). Nilai tersebut kemudian digunakan sebagai dasar penentuan nilai batas bawah dan batas sebagaimana tertera dalam Persamaan (2) dan Persamaan (3). Nilai yang tidak berada dalam rentang tersebut dapat diidentifikasi sebagai *outlier*. *Outlier* adalah nilai yang jauh berbeda dari sebagian besar data dalam *dataset* dan dapat disebabkan oleh kesalahan pengukuran, variabilitas alami, atau faktor lain. Adanya *outlier* dapat menyebabkan kebiasaan pada saat data digunakan dalam pemodelan. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung batas atas dan batas bawah dengan metode IQR.

$$IQR = Q3 - Q1 \quad (1)$$

$$Batas Atas = Q3 + (1,5 \times IQR) \quad (2)$$

$$Batas Bawah = Q1 - (1,5 \times IQR) \quad (3)$$

Pada tahapan *data transformation*, keseluruhan data akan distandarisasi dengan metode *z-score*. Hal ini bertujuan untuk menjadikan keseluruhan data dalam satu skala yang sama sehingga tidak terdapat bias perhitungan. Persamaan (4) berikut merupakan persamaan untuk standarisasi dengan z = nilai hasil standarisasi; x = nilai asli parameter; μ = rata – rata data ; dan θ = standar deviasi.

$$z = \frac{(x - \mu)}{\theta} \quad (1)$$

Untuk memastikan validitas model, dilakukan evaluasi dengan menggunakan 3 parameter evaluasi yang dihitung dengan persamaan berikut.

- RMSE (*Root Mean Square Error*), mengukur akar kuadrat dari rata-rata kuadrat kesalahan antara nilai prediksi (\hat{y}) dan nilai aktual (y). Nilai RMSE dapat dihitung dengan Persamaan (5).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (5)$$

- MAE (*Mean Absolute Error*), mengukur rata-rata dari kesalahan absolut antara nilai prediksi (\hat{y}) dan nilai aktual (y). Nilai MAE dapat dihitung dengan Persamaan (6).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (6)$$

- MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*), mengukur rata-rata kesalahan absolut sebagai persentase dari nilai aktual. Nilai MAPE dapat dihitung dengan Persamaan (7).

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (7)$$

Nilai n pada ketiga persamaan tersebut ialah jumlah data. Hasil dari model pada tahapan tersebut akan digunakan sebagai basis pembagian proporsi gas alam. Pembagian proporsi gas alam dilakukan dengan bantuan *solver* pada *microsoft excel*. Penerapan batasan secara operasional perlu diaplikasikan untuk menghindari nilai *outlier* yang tidak realistis. Tabel 1 merupakan beberapa batasan dalam pembagian proporsi gas alam ke *running train*.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 1. Batasan pada Improvisasi Pembebanan Train

| Parameter | Train G | Train H |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| Kapasitas minimum | 300 kNm ³ /jam | 300 kNm ³ /jam |
| Closed Recycle Valve | 358 kNm ³ /jam | 453 kNm ³ /jam |
| Kapasitas Maksimum | 468 kNm ³ /jam | 508 kNm ³ /jam |

Plant Test

Setelah ditemukan model paling optimal, selanjutnya akan diaplikasikan secara langsung di kilang. Dalam praktiknya diperlukan juga penyesuaian dengan kondisi aktual di lapangan seperti penurunan jumlah *feed gas*, bukaan *compressor recycle valve*, kemampuan *make up MCR*, dan kondisi lainnya. Pada saat dilakukan *plant test* modifikasi parameter tidak bisa dilakukan secara simultan untuk menghindari multi intrepetasi akibat terdapat lebih dari satu parameter yang dimanipulasi.

7. Analisis Performa Train Berdasarkan Hasil Plant Test

Analisis digunakan untuk memastikan keakuratan dari model perhitungan dengan kondisi aktual. Dengan membandingkan nilai prediksi dengan kondisi aktual maka dapat dihitung nilai *error* dari pemodelan. Nilai *error* yang rendah mengindikasikan model dapat merepresentasikan kondisi aktual sehingga dapat menggunakan sebagai basis perhitungan *saving* dengan menghitung selisih antara kondisi operasi sebelum dilakukan improvisasi.

8. Penentuan Proporsi Feed Gas Paling Optimum untuk Masing – masing Process Train Berdasarkan Hasil Plant Test

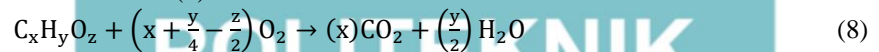
Uji coba ini berfungsi sebagai media untuk menentukan besar proporsi gas alam pada laju alir tertentu yang memiliki nilai paling efisien mengingat perbedaan kemampuan setiap *running train*. Pengaturan ini tetap memperhatikan beberapa batasan sebagai berikut.

9. Pengajuan Saran Proporsi Feed Gas Paling Optimum kepada Departemen Terkait

Hasil dari analisis ini dapat digunakan sebagai acuan mengenai performa sebuah *train* dan langkah – langkah yang perlu diambil untuk meningkatkan efisiensi kilang secara keseluruhan. Penulis dapat mengajukan studi lebih lanjut mengenai penelitian yang dilakukan kepada departemen terkait mengenai aplikasi lebih lanjut.

Perhitungan Saving dan CO₂ Reduction

Pada praktiknya, segala kegiatan yang melibatkan gas alam menjadi bahan bakarnya menghasilkan CO₂ dengan proporsi paling besar mengingat karbon dioksida (CO₂). Hal tersebut sesuai dengan reaksi kimia pembakaran dimana ketika suatu hidrokarbon bereaksi secara sempurna dengan oksigen akan membentuk CO₂ dan uap air sebagaimana Persamaan (8) berikut.



CO₂ merupakan salah satu gas rumah kaca yang secara garis besar memiliki efek buruk secara domino. Akibat kenaikan CO₂ dimulai dari kenaikan suhu rata – rata permukaan bumi hingga terjadi pencairan permukaan es pada kutub bumi yang mengakibatkan kenaikan rata – rata permukaan air laut. Oleh karena itu, sebisa mungkin jumlah emisi gas rumah kaca diminimalisir. Dalam kilang pencairan gas alam sendiri, karbon dioksida dihasilkan baik dari pembakaran *fuel gas* maupun *flaring gas*, *venting* pada unit regenerasi larutan amin pada *acid gas removal unit*, dan kebocoran pada sistem perpipaan[7]. Improvisasi dengan tujuan meminimalkan jumlah *fuel gas* dapat menurunkan jumlah emisi serta dapat meningkatkan jumlah produksi LNG dengan cara mengonversi sejumlah gas yang seharusnya menjadi bahan bakar menjadi produk LNG. Jumlah emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran suatu material sangat dipengaruhi oleh komposisi penyusunnya. Pada perhitungan emisi produk gas alam, jumlah emisi dapat dihitung berdasarkan nilai HHV (*Higher Heating Value*). Berdasarkan panduan perhitungan emisi yang dikeluarkan oleh American Petroleum Institute, terdapat hubungan linear antara nilai HHV dengan jumlah emisi yang dinyatakan dengan sebuah faktor koreksi sesuai dengan Persamaan (9)[8].

$$\text{Faktor Emisi} \left(\frac{\text{Ton CO}_2}{\text{MMBTU}}\right) = 1E - 05 \times \text{HHV} + 0,0373 \quad (9)$$

Jumlah emisi CO₂ kemudian dihitung dengan mengalikan faktor emisi dengan besaran nilai bakar (MMBTU) gas yang dibakar dalam unit *boiler* atau *flaring system* sebagaimana Persamaan (10) dengan ρ merupakan densitas dan \dot{V} merupakan laju alir LNG.

$$\frac{\text{Ton CO}_{2eq}}{\text{jam}} = \text{Faktor emisi} \times \text{HHV}(\text{MMBTU}) \times \rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times \dot{V} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}}\right) \quad (10)$$

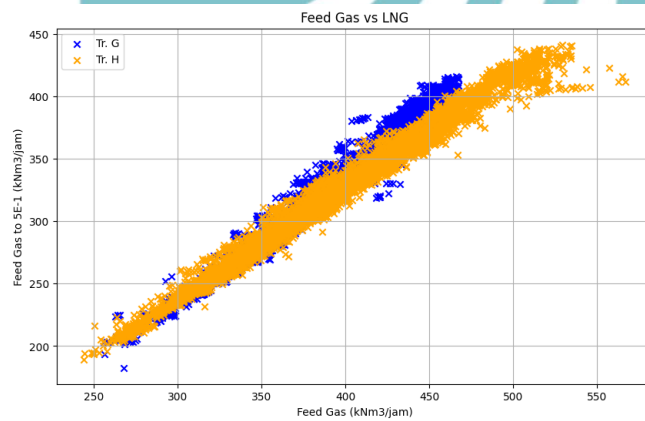




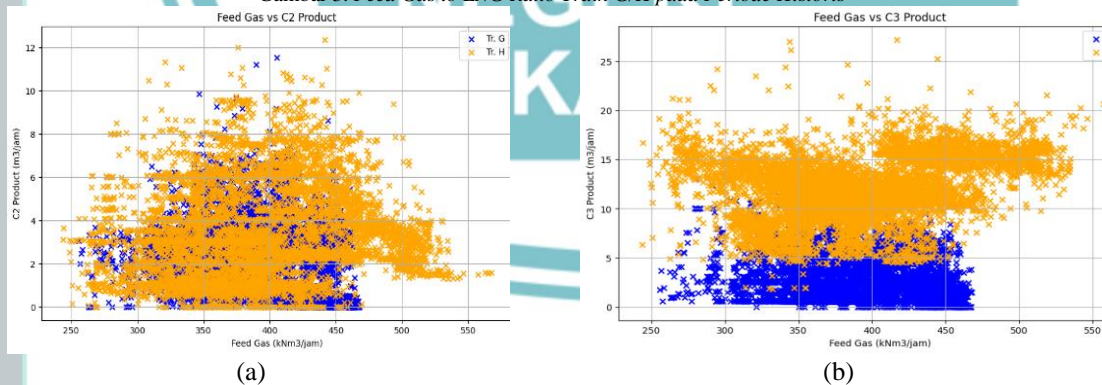
1. HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1 Evaluasi Data Historis

Evaluasi data historis dilakukan dengan pemetaan data pada kondisi normal (tanpa *outlier*) untuk memastikan data yang digunakan bebas dari bias. Data evaluasi diambil pada periode 3 November 2023 – 30 Juni 2024 dengan ketentuan hanya Train G dan Train H yang beroperasi. Feed gas to LNG ratio merepresentasikan besar konversi gas alam menjadi LNG pada suatu *process train*. Berdasarkan Gambar 3 di bawah ini, terlihat pada laju alir *feed gas* yang sama, Train G memproduksi sedikit lebih banyak LNG dibandingkan dengan Train H. Hasil analisis komposisi di laboratorium juga menunjukkan hasil yang hampir sama. Dengan asumsi komposisi feed gas yang sama, kemungkinan sebagian gas alam yang masuk ke Train H dikonversi menjadi produk samping seperti etana, propana, butana, dan kondensat. Hal ini terbukti dengan hasil pemetaan produksi produk samping Train H yang lebih tinggi dibandingkan Train G. Pada produksi etana (Gambar 4.a), jumlah produksi etana Train G lebih tinggi dibandingkan dengan Train H pada laju alir *feed gas* yang sama. Fakta yang sama juga ditunjukkan pada hasil pemetaan produksi propana (Gambar 4.b). Pada profil produksi butana yang ditunjukkan pada Gambar 4.c, jumlah produk yang dihasilkan Train G cenderung lebih banyak dibandingkan dengan Train H sebagai akibat perbedaan jumlah *pre-cooler* sebelum memasuki kolom distilasi pada Train G dan Train H, yang menyebabkan perbedaan suhu *inlet*. Train H memiliki suhu *inlet* yang lebih tinggi sehingga banyak molekul berat (C_2^+) masuk ke dalam produk LNG. Pada profil produksi kondensat (Gambar 4.d), jumlah produksi antara kedua *train* sama dengan kecenderungan tidak terdapat korelasi antara jumlah *feed gas* dengan hasil produksi, karena jumlah produksi kondensat sangat bergantung pada hasil ekstraksi komponen pada unit sebelumnya.



Gambar 3. Feed Gas to LNG Ratio Train G/H pada Periode Historis



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

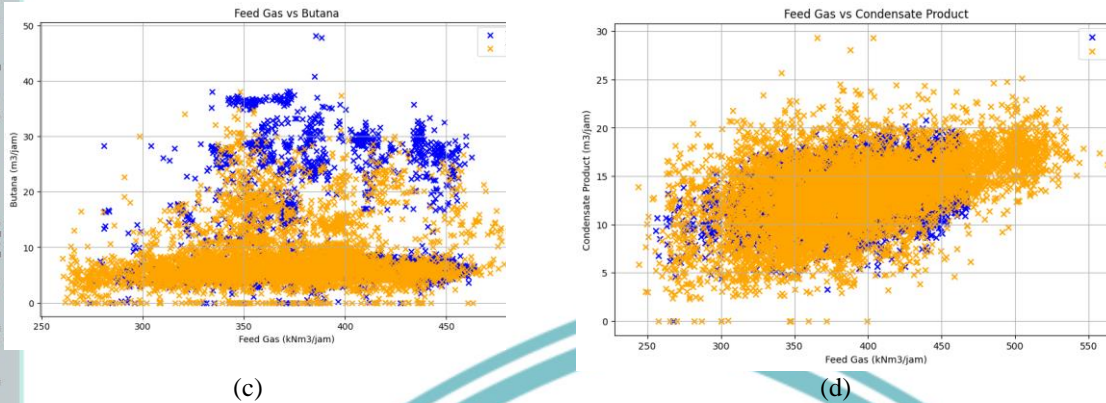
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



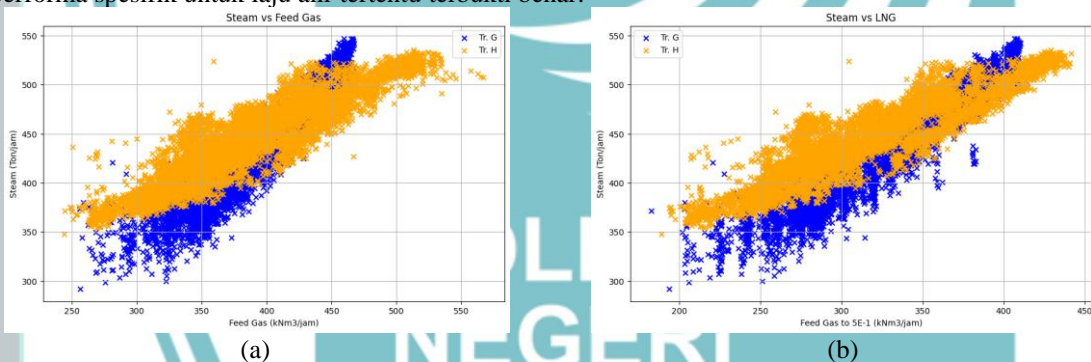
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. Profil Produk Samping pada Periode Historis. Gambar (a) Produk Etana pada Periode Historis, Gambar (b) Produk Propana pada Periode Historis, Gambar (c) Produk Butana pada Periode Historis, dan Gambar (d) Produk kondensat pada Periode Historis

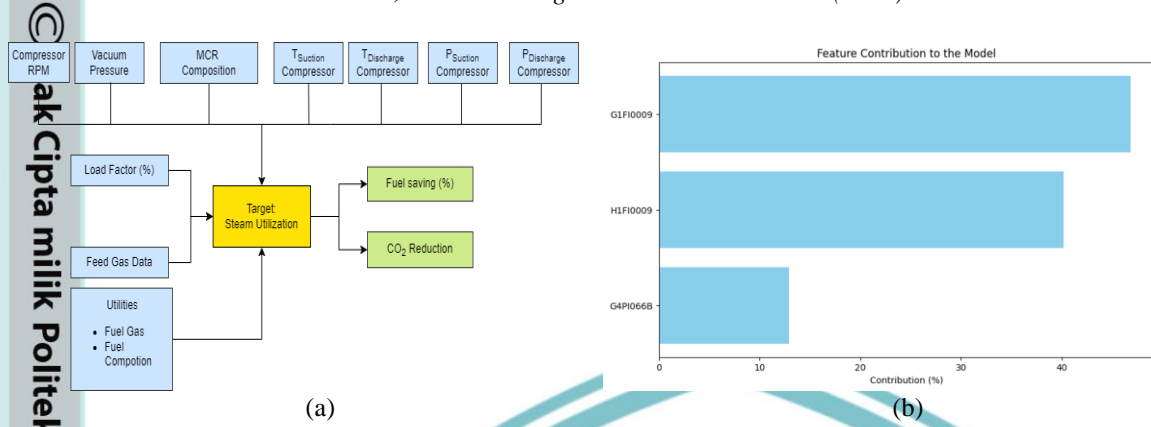
Pada parameter *Steam to Feed Gas Ratio* mengindikasikan jumlah 4KT's *steam* yang diperlukan untuk mengelola LNG pada kuantitas tertentu. Dari grafik tersebut terlihat pada *rate* yang lebih rendah Train G mengonsumsi lebih sedikit *steam* dibandingkan dengan Train H dan begitu juga sebaliknya. Dengan fakta tersebut, terdapat peluang untuk meminimalkan konsumsi *steam* yang linear dengan konsumsi *fuel gas* melalui pembagian proporsi gas alam yang diproses pada masing – masing *process train*. Akan tetapi grafik tersebut masih mencakup keseluruhan *feed gas* yang masuk, sedangkan terdapat sejumlah *feed gas* yang terkonversi menjadi produk samping. Untuk memfokuskan evaluasi, dilakukan pemetaan jumlah *steam* terhadap jumlah LNG yang dihasilkan atau dikenal dengan *Steam to LNG Ratio*. Dari hasil pemetaan *Steam to LNG Ratio* mengindikasikan hal sama sehingga hipotesis bahwa setiap *train* memiliki performa spesifik untuk laju alir tertentu terbukti benar.



Gambar 5. *Steam to Feed Gas Ratio* pada Periode Historis Gambar (a) dan *Steam to LNG Ratio* pada Periode Historis gambar (b)

3.2 PENGOLAHAN DATA DAN PEMODELAN

Konsumsi *fuel gas* sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, sehingga diperlukan analisis lebih lanjut mengenai faktor yang paling berpengaruh. Hal ini bertujuan untuk memudahkan langkah modifikasi. *Process train* menjadi objek utama yang akan dievaluasi, mengingat proporsi konsumsi *steam* pada unit tersebut mencapai 65%. Terdapat berbagai parameter yang dapat memengaruhi konsumsi *steam* di unit tersebut, terutama pada subunit refrigerasi. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menerapkan pustaka Pandas dan *feature importance* menggunakan algoritma *Random Forest Regressor*. Sebelum itu, perlu dilakukan *data cleansing* dengan deteksi *missing value*, penghapusan nilai *outlier* menggunakan metode IQR, dan standarisasi data. Dari hasil *data cleansing*, tidak ditemukan *missing value*. Tahapan selanjutnya adalah seleksi *outlier* menggunakan metode IQR sebagaimana terdefinisi pada Persamaan (1), (2), dan (3). Data yang sudah terbebas dari *outlier* tersebut akan distandarisasi dengan nilai standar (z) yang dihitung sesuai dengan Persamaan (4). Data yang telah distandarisasi tersebut akan diseleksi parameter yang paling berpengaruh dengan *feature importance*. Dari hasil seleksi berdasarkan *feature importance*, parameter G1FI009 dan H1FI009 memberikan pengaruh paling besar terhadap nilai *fuel gas*. G1FI009 dan H1FI009 merupakan laju alir *feed gas* yang diproses di masing-masing *train*.



Gambar 6. Daftar Parameter yang Memengaruhi Konsumsi Fuel Gas Gambar (a) dan Hasil Feature Selection dengan Random Forest Gambar (b)

Parameter G1FI009 dan H1FI009 kemudian digunakan sebagai basis pemodelan dengan regresi linear multivariabel. Data historis yang digunakan sebagai media pemodelan kemudian dibagi menjadi dua set data, yaitu *training data* dan *testing data* dengan proporsi 4:1. Adanya *testing dataset* bertujuan untuk mengevaluasi nilai hasil prediksi. Persamaan (10) merupakan persamaan dalam memprediksi jumlah *fuel gas*.

$$Total\ Fuel\ Gas = 50,6559 + (G1FI009 \times 0,1309) + (H1FI009 \times 0,0214) \quad (11)$$

Dari hasil pengujian dengan *testing data set*, didapatkan nilai RMSE = 0,05; MAE = 0,04; dan MAPE = 0,04. Nilai tersebut relatif kecil jika dibandingkan dengan nilai aktual sehingga model terhitung valid. Berdasarkan hal tersebut, model prediksi gas alam tersebut digunakan sebagai media untuk melakukan pembagian beban pengolahan gas alam pada periode *plant test*, yaitu 15 – 19 Juli 2024. Pembagian pembebanan *running train* dilakukan dengan bantuan *solver*. Dalam melakukannya diperlukan batasan – batasan untuk menghindari nilai abnormal yang tidak dapat diaplikasikan pada saat *plant test*. Batasan tersebut telah tercantum pada Tabel 2. Pada pengujian menggunakan *plant test* ini laju alir minimal yang diterapkan ialah 350 kNm³/jam, tidak sesuai dengan batasan minimum pada Tabel 2. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan perubahan signifikan kondisi operasional kilang yang beresiko terhadap stabilitas produksi semisal perubahan komposisi MCR yang drastis, kenaikan kebutuhan *make up* MCR, vibrasi pada pompa atau peralatan berputar lainnya, serta risiko keselamatan lain yang mungkin terjadi. Oleh karena itu pada masa periode *plant test* batas bawah yang dipakai ialah rata – rata bawah kondisi operasi normal pada Train G dan Train H. Berikut merupakan hasil pembagian proporsi dengan menggunakan *solver* di *Microsoft Excel* pada periode *plant test*.

Tabel 2. Hasil Pembagian Proporsi Pembebanan Feed Gas pada Periode Plant Test

| Tanggal | Total Feed Gas | H1FI009 | G1FI009 | Minimum Total Fuel Gas |
|--------------|----------------|----------|----------|------------------------|
| 15 Juli 2024 | 774,7958 | 424,7958 | 350,0000 | 105,6192 |
| 16 Juli 2024 | 769,4831 | 419,4831 | 350,0000 | 105,5052 |
| 17 Juli 2024 | 772,7209 | 422,7209 | 350,0000 | 105,5746 |
| 18 Juli 2024 | 768,0416 | 418,0416 | 350,0000 | 105,4742 |
| 19 Juli 2024 | 765,7610 | 415,7610 | 350,0000 | 105,4253 |

3.3 HASIL PLANT TEST DAN VALIDASI

Plant test atau pengaplikasian improvisasi secara langsung pada *running train* dilakukan pada rentang waktu 15 – 19 Juli 2024. Parameter yang digunakan sebagai media pemantauan *plant test* ialah jumlah *fuel gas consumption*. Pada pelaksanaan *plant test*, skenario yang diberlakukan ialah sesuai dengan hasil pembagian proporsi, yaitu jumlah *feed gas* yang diproses di Train G sejumlah 350 kNm³/jam dan jumlah *feed gas* menuju Train H merupakan *balance* dari total keseluruhan *feed gas*. Akan tetapi, hal tersebut sukar dilakukan mengingat pada saat rentang *feed gas* 765 – 775 kNm³/jam terdapat prioritas untuk menutup *recycle valve compressor* Train G sehingga nilai *feed gas* yang diproses di Train G berkisar antara 355 – 360 kNm³/jam. Disisi lain, dengan profil *feed gas* pada periode tersebut tidak mungkin dilakukan penutupan pada *compressor recycle valve* Train H. Selain adanya fluktuasi pada jumlah *feed gas* yang diproses, pada masa *plant test* juga terjadi penyesuaian komposisi dan laju alir refrijeran sehingga terdapat fluktuasi pada konsumsi energi. Gambar 7. merupakan profil perbandingan konsumsi energi pada rentang *feed gas* selama periode *plant test* jika dibandingkan dengan data historis. Berdasarkan hasil *plotting* jumlah *fuel gas* yang dibutuhkan untuk memproses *feed gas* dengan laju alir yang sama setelah dilakukan improvisasi relatif lebih rendah. Hal ini mengindikasikan pengaturan beban sesuai dengan performa masing – masing *train* membawa

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

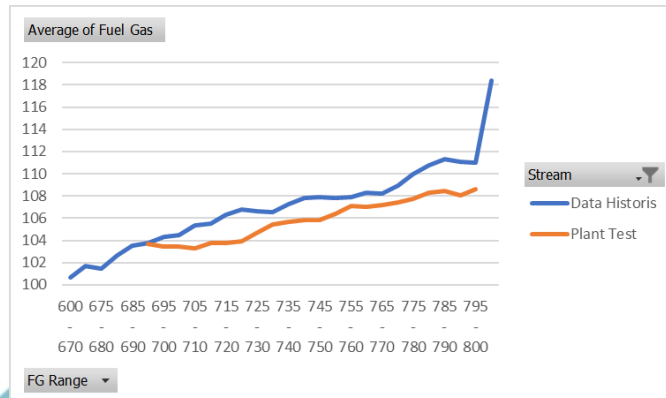
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



dampak signifikan terhadap konsumsi energinya. Dengan asumsi sebelum dilakukan improvisasi pembagian *fuel gas* pada masing – masing *running train* ialah 50:50, selisih antara data historis dan hasil *plant test* dapat dihitung sebagai *saving* atau *benefit* dari improvisasi ini. *Saving* tersebut tidak hanya berupa jumlah *recovered LNG*, akan tetapi juga *CO₂ reduction*.



Gambar 7. Profil Konsumsi Energi pada Periode Historis dan Periode *Plant Test*

Berdasarkan Gambar 7, terdapat penghematan konsumsi *fuel gas* yang digunakan untuk memproses *feed gas* yang masuk ke kilang PT ABC. Hal tersebut mengindikasikan terdapat sejumlah *feed gas* yang seharusnya dijadikan bahan bakar dapat diolah menjadi LNG sehingga meningkatkan nilai produksi yang sejalan dengan pendapatan. Selain manfaat ekonomi, dari sisi lingkungan dapat mengurangi nilai *CO₂* yang dibuang ke lingkungan. Berdasarkan Gambar 7, penurunan nilai *fuel gas* berkisar antara 0,5 – 2 *kNm³/jam*. Tabel 3 merupakan perhitungan proyeksi penghematan dengan data yang disajikan merupakan data aktual berupa rata – rata kondisi pada periode *plant test*.

Tabel 3. Proyeksi *Fuel Gas Reduction* Hasil Improvisasi

| Tanggal | Feed Gas (kNm ³ /jam) | Total Fuel Gas (50:50) (kNm ³ /jam) | Fuel Gas Aktual (kNm ³ /jam) | Fuel Gas Reduction (kNm ³ /jam) |
|--------------|----------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 15 Juli 2024 | 754,0356 | 108,1331 | 106,7886 | 1,3445 |
| 16 Juli 2024 | 738,1408 | 106,9215 | 106,5965 | 0,3250 |
| 17 Juli 2024 | 759,9578 | 108,5845 | 106,8455 | 1,7390 |
| 18 Juli 2024 | 747,0952 | 107,6041 | 105,2616 | 2,3425 |
| 19 Juli 2024 | 723,4400 | 105,8009 | 104,0596 | 1,7413 |

Nilai *fuel gas reduction* kemudian diasumsikan sebagai *feed gas* yang dipulihkan sehingga dapat dilakukan perhitungan jumlah LNG *recovered* dengan menggunakan *feed gas to LNG ratio* pada periode yang sama. Berdasarkan hasil perhitungan dengan asumsi nilai pembagian *feed gas* sebelum adanya improvisasi ialah 1:1 dan nilai bakar dari *fuel gas* sama dengan komposisi LNG yang dihasilkan, Tabel 4 menyajikan tabel perhitungan nilai *CO₂ reduction* selama periode *plant test*.

Tabel 4. Perhitungan *CO₂ Reduction* dan LNG *Recovered* pada Periode *Plant Test*

| Tanggal | Fuel Gas Reduction (kNm ³ /jam) | HHV (BTU/scf) | Faktor Emisi (Ton CO ₂ eq / MMBTU) | CO ₂ Reduction | Feed Gas to LNG Ratio | Recovered LNG (m ³) |
|--------------|--------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 15 Juli 2024 | 1,3445 | 1068,5245 | 0,0480 | 3,1781 | 0,6880 | 2,3932 |
| 16 Juli 2024 | 0,3250 | 1068,9637 | 0,0480 | 0,9065 | 0,6909 | 0,6728 |
| 17 Juli 2024 | 1,7390 | 1066,1435 | 0,0480 | 3,3422 | 0,6907 | 2,5186 |
| 18 Juli 2024 | 2,3425 | 1065,6159 | 0,0480 | 4,5462 | 0,6937 | 3,4131 |
| 19 Juli 2024 | 1,7413 | 1063,9066 | 0,0479 | 3,4075 | 0,6859 | 2,5981 |

Berdasarkan perhitungan tersebut, terdapat proyeksi penghematan penggunaan *fuel gas* mencapai \$6.051.650 (dengan asumsi harga LNG \$10/MMBTU) dan jumlah pengurangan *CO₂* setara 35.000 ton *CO₂ equivalent* per tahun, yang diperkirakan sebesar 0,5% dari total emisi PT ABC, yaitu sekitar 7 juta ton *CO₂ equivalent* per tahun. Hal ini membuktikan bahwa pembagian proporsi sesuai dengan performa masing-masing *running train* dapat meningkatkan efisiensi kilang dan memberikan penghematan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengummumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4. KESIMPULAN

Setiap *running train* di PT ABC memiliki kecenderungan performa berbeda pada masing-masing *rate feed gas*. Train G cenderung lebih efisien pada *rate* rendah jika dibandingkan dengan Train H memiliki efisiensi lebih baik pada *rate feed gas* tinggi. Model yang disusun dengan pemilihan fitur menggunakan algoritma *Random Forest Regressor* dan pemodelan dengan *linear regression* menghasilkan nilai evaluasi RMSE = 0,05; MAPE = 0,04; dan MAPE = 0,1104. Input data parameter yang dipergunakan sebagai bahan model ialah G1FI009 dan H1FI009. Dengan adanya pembagian pembebanan sesuai dengan performa masing-masing *running train* terjadi penurunan jumlah *fuel gas* yang diperlukan sekitar 1-2% atau setara dengan \$6.051.650 per tahunnya. Selain itu, terdapat juga pengurangan CO₂ setara 35.000 tonCO₂equivalent yang diperkirakan 0,5% dari total emisi PT ABC yang berkisar 7 juta ton CO₂eq per tahunnya.

REFERENSI

1. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Inventarisasi Emisi GRK Bidang Energi," Jakarta, Dec. 2020.
2. PT Badak NGL, "Sustainability Report Badak LNG 2022," Bontang, 2023. Accessed: Mar. 31, 2024. [Online]. Available: <https://badaklng.com/images/2023/Report/sustainability-report-badak-lng-2022.pdf>
3. PT Badak NGL, "2021 Energy Review Report - Badak LNG," Bontang, Jun. 2022.
4. M. Chaibi, E. M. BENGHOULAM, L. Tarik, M. Berrada, and A. El Hmaidi, "Machine Learning Models Based on Random Forest Feature Selection and Bayesian Optimization for Predicting Daily Global Solar Radiation," *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 11, no. 1, pp. 309–323, Feb. 2022, doi: 10.14710/IJRED.2022.41451.
5. Chidambaram and my, "FORECASTING ELECTRICITY CONSUMPTION THROUGH A FUSION OF HYBRID RANDOM FOREST REGRESSION AND LINEAR REGRESSION MODELS UTILIZING SMART METER DATA," *J Theor Appl Inf Technol*, vol. 15, no. 21, 2023, [Online]. Available: www.jatit.org
6. K. Malik, H. Sadawarti, and K. G. S, "Comparative Analysis of Outlier Detection Techniques," *Int J Comput Appl*, vol. 97, no. 8, pp. 12–21, Jul. 2014, doi: 10.5120/17026-7318.
7. American Petroleum Institute, "COMPENDIUM OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS METHODOLOGIES FOR THE NATURAL GAS AND OIL INDUSTRY ACKNOWLEDGEMENTS," Washington DC, Nov. 2021. Accessed: Apr. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.api.org/~media/files/policy/esg/ghg/2021-api-ghg-compedium-110921.pdf>
8. M. Lev-On, "GHG Emissions from LNG Operations," Washington DC, May 2015.

