

PENGARUH PEMAKAIAN UDARA PEMBAKARAN TERHADAP *YIELD COKE* DAN *THERMAL EFFICIENCY* PADA REGENERATOR 15-R-103/104 UNIT RESIDUE CATALYTIC CRACKER DI PT KILANG PERTAMINA INTERNASIONAL RU VI BALONGAN

M.Y. Lianles¹, Fauziah¹, B. Santoso¹, A. Subowo² dan A.P. Nugroho²

¹Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya, Palembang

²Pertamina International Refinery Unit VI Balongan, Indramayu

*Corresponding author e-mail: muhammadotilianles823@gmail.com

ABSTRAK: Unit Residue Catalytic Cracker (RCC) di PT Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan berfungsi mengolah residu berat menjadi bensin LPG dan Light Cycle Oil. Selama proses perengkahan terbentuk coke pada katalis yang menurunkan aktivitas sehingga diperlukan regenerasi di regenerator dua tingkat (15-R-103/104) dengan udara pembakaran sebagai sumber oksigen. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pemakaian udara pembakaran terhadap yield coke dan efisiensi termal. Data operasi Juni 2025 berupa kapasitas umpan laju udara pembakaran komposisi flue gas dan temperatur regenerator diolah menggunakan perhitungan neraca massa dan energi. Hasil menunjukkan yield coke 8,19–9,36% dengan rata-rata 8,64% sedangkan efisiensi termal 61,70–63,15% dengan rata-rata 62,26%. Peningkatan udara pembakaran cenderung meningkatkan yield coke sekaligus mendorong efisiensi termal meskipun tidak sepenuhnya linier. Keseimbangan suplai udara pembakaran coke dan distribusi panas menjadi faktor penting untuk menjaga stabilitas RCC sehingga diperlukan optimasi distribusi udara dan pengendalian catalyst cooler.

Kata Kunci: residue catalytic cracker, regenerator, udara pembakaran, yield coke, efisiensi termal.

ABSTRACT: The Residue Catalytic Cracker (RCC) unit at PT Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan processes heavy residue into high-value products such as gasoline LPG and Light Cycle Oil. During cracking reactions coke is deposited on the catalyst surface reducing its activity which necessitates regeneration in a two-stage regenerator (15-R-103/104) using combustion air as the oxygen source. This study aims to analyze the effect of combustion air consumption on coke yield and thermal efficiency. Operational data from June 2025 including feed capacity combustion air flow flue gas composition and regenerator temperature were processed using mass and energy balance calculations. Results show coke yield in the range of 8.19–9.36% with an average of 8.64% while thermal efficiency ranges from 61.70–63.15% with an average of 62.26%. Increased combustion air tends to raise coke yield and improve thermal efficiency though not linearly. Maintaining balance between air supply coke combustion and heat distribution is crucial for RCC stability thus optimization of air distribution and catalyst cooler operation is required.

Keywords: Residue Catalytic Cracker, regenerator, combustion air, coke yield, thermal efficiency.

1. PENDAHULUAN

Unit Residue Catalytic Cracker (RCC) di PT Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan berfungsi untuk mengolah fraksi residu berat menjadi produk bernilai lebih tinggi seperti bensin, LPG, dan Light Cycle Oil melalui proses perengkahan katalitik menggunakan katalis padat pada suhu tinggi. Selama proses perengkahan, terbentuk endapan karbon (coke) pada permukaan katalis, yang dapat menurunkan aktivitas katalis. Oleh karena itu, proses regenerasi diperlukan untuk menghilangkan coke tersebut, yang dilakukan di dalam regenerator dua tingkat, yaitu 15-R-103 sebagai upper regenerator dan 15-R-104 sebagai lower

regenerator. Proses pembakaran coke dalam regenerator ini menggunakan udara sebagai sumber oksigen.

Udara pembakaran memegang peranan penting dalam proses regenerasi katalis. Jumlah udara yang digunakan secara langsung memengaruhi dua parameter utama: yield coke dan efisiensi termal. Yield coke menunjukkan jumlah karbon yang terbentuk selama proses perengkahan dan terbakar dalam regenerator. Nilai yield coke yang tinggi dapat mengindikasikan penurunan aktivitas katalis atau dominasi reaksi perengkahan yang tidak selektif, yang dapat berdampak pada menurunnya hasil produk utama. Sementara itu, efisiensi termal mengukur seberapa efektif panas dari pembakaran coke dimanfaatkan kembali dalam sistem

untuk mendukung proses cracking. Efisiensi yang rendah dapat menyebabkan kebutuhan energi tambahan yang lebih besar dan menurunkan kestabilan operasi unit RCC secara keseluruhan.

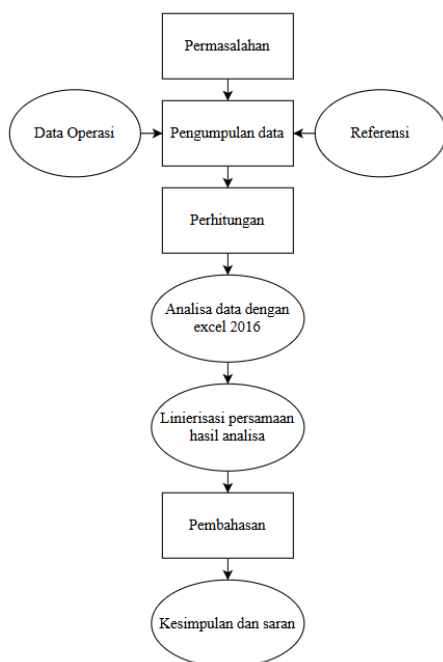
Pengaturan udara pembakaran yang tepat menjadi faktor krusial untuk memastikan proses regenerasi yang efisien, mempertahankan kualitas katalis, serta menjaga kestabilan operasi. Penelitian ini mengevaluasi hubungan antara pemakaian udara pembakaran dengan yield coke dan efisiensi termal pada sistem regenerator RCC, terutama pada unit 15-R-103 dan 15-R-104. Temuan dari penelitian ini bertujuan untuk mendukung pengendalian proses yang lebih optimal di kilang, dengan memberikan panduan terkait pengelolaan udara pembakaran yang lebih efisien guna meningkatkan kinerja unit RCC.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan melalui metode observasi kuantitatif di Pertamina International Refinery Unit VI Balongan selama bulan Juni 2025.

2.1 Diagram Alir

Diagram alir penyusunan laporan tugas khusus di unit RCC pada PT Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

2.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan memahami referensi serta sumber informasi yang berasal dari buku, jurnal, laporan, dan catatan yang berkaitan dengan proses regenerasi katalis. Studi literatur digunakan dengan tujuan mempelajari parameter dalam menghitung yield

coke dan thermal efficiency dari pengaruh penggunaan udara pembakaran. Studi literatur ini dapat membantu memperoleh landasan dalam penyelesaian masalah terhadap masalah terkini.

2.3 Pengumpulan Data

Untuk menghitung yield coke dan *thermal efficiency*, diperlukan data-data kondisi operasi. Data yang digunakan *feed capacity*, total coke, *flue gas rate*, temperature tertinggi regenerator (*dilute*, *dense*, dan *phase*), temperatur *riser* reaktor, temperatur dan flowrate *catalyst cooler*, dan temperatur *main air blower*.

Tabel 1. Data kapasitas feed

Paramater	Rata-rata
Flow Feed Capacity (kg/jam)	425606,2419
Wet Air (KNm ³ /jam)	337,8195379
temperatur <i>Discharge Main Air Blower</i> (°C)	186,4571472
Temperatur <i>Riser Reaktor</i> (°C)	529,4543183

Tabel 2. Data flue gas rate rata-rata dalam satu bulan

Sebelum Koreksi		Sesudah koreksi	
Flue gas	Mol%	Flue gas	Mol%
CO	5,000626391	CO	5,000626391
CO ₂	15,45378645	CO ₂	15,45378645
O ₂	0	O ₂	0
N ₂	79,41	Ar	0,95292
O ₂ +Ar	0,95292	N ₂ +Ar	80,36292

Tabel 3. Data temperature (°C) di dense bed, dillute bed, dan stuck (fluegas)

Paramater	Temperatur (°C)
Fluegas	708,8757243
Dillute Upper	734,2839
Dillute Lower	698,5502
Dense Upper	713,55
Dense lower	696,9755
Rata-Rata	710,447065

Tabel 4. Data Temperatur dan Flow Catalyst Cooler

Temperatur dan flow catalyst cooler				
water inlet (°C)	Steam product (°C)	Blowdown (°C)	Steam (ton/jam)	blowdown (ton/jam)
180	250	139	3,8	1,8

2.4. Metode Pengolahan Data

Data dari hasil pengamatan kemudian dilakukan perhitungan sesuai tahapan yang dijabarkan sebelumnya. Perhitungan yield coke dan efficiency thermal selama satu bulan mulai tanggal 1 Juni 2025 sampai 30 Juni 2025 akan dibandingkan dengan yield coke dan efficiency rujukan. Berikut perhitungan *yield coke* dan *thermal efficiency*

A. Perhitungan Yield Coke

1. Menghitung udara basah

$$\text{Flow (Nm}^3/\text{jam)} \times \left(\frac{1 \text{ kg mol}}{22,4 \text{ Nm}^3} \right) \times 28,37 \times \text{kg/kg mol} = \dots \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right)$$

1. Menghitung udara kering

$$\text{Udara basah} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right) \times \left(\frac{1}{1 + \text{moisture content}} \right) = \text{Udara kering} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right)$$

2. Menghitung mol udara kering

$$\text{Udara kering} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right) \times \left(\frac{1}{1 + \text{BM udara kering}} \right) \text{kgmol/kg} = \dots \left(\frac{\text{kgmol}}{\text{jam}} \right)$$

3. Menghitung kandungan H₂O dalam udara =

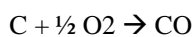
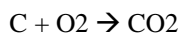
$$\text{Udara basah} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right) - \text{udara kering} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right) = \dots \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right)$$

4. Menghitung kapasitas flue gas

$$\text{Mol dry air} \left(\frac{\text{kg mol}}{\text{jam}} \right) \times \left(\frac{\text{konstraksi N}_2 \text{ dalam dry air}}{\text{konstraksi N}_2 + \text{air dalam flue gas}} \right) = \dots \left(\frac{\text{kg mol}}{\text{jam}} \right)$$

5. Menghitung kandungan karbon dalam coke

Karbon yang terdapat di coke dapat dihitung dari komposisi flue gas dimana setiap satu mol C yang di bakar akan menghasilkan satu mol CO atau CO₂ di flue gas.

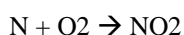
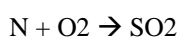
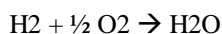
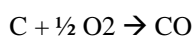
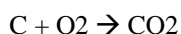


$$\text{C dalam coke} = \text{mol flue gas} \left(\frac{\text{kgmol}}{\text{jam}} \right) \times \left(\frac{\% \text{CO in flue gas} + \% \text{CO}_2 \text{ in flue gas}}{100} \right)$$

$$\text{C dalam coke} = \dots \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right)$$

6. Menghitung kandungan hydrogen dalam coke

Kandungan hidrogen dicoke dapat dihitung berdasarkan O₂ balance dari reaksi H₂ terbakar memebntuk H₂O. Adapun reaksinya sebagai berikut:



O₂ untuk regenerasi = excess O₂ di flue gas + O₂ bereaksi menjadi CO + O₂ bereaksi menjadi CO₂ + O₂ bereaksi menjadi H₂O + O₂ bereaksi menjadi SO₂ + O₂ bereaksi menjadi NO₂

Ket: dikarenakan pada hasil analisa flue gas tidak ditemukan SO₂ dan NO₂.

O₂ di dry air = excess O₂ di flue gas + O₂ bereaksi menjadi CO + O₂ bereaksi menjadi CO₂ + O₂ bereaksi menjadi H₂O

Dengan konsep kesetimbangan stoikiometri maka dapat dihitung

➤ O₂ di dry air

$$\text{Mol dry air} \left(\frac{\text{kg mol}}{\text{jam}} \right) \times \text{komposisi O}_2 \text{ dalam udara} = \dots \left(\frac{\text{kg mol}}{\text{jam}} \right)$$

➤ Excess O₂ di flue gas

$$\text{Mol flue gas} \left(\frac{\text{kg mol}}{\text{jam}} \right) \times \text{kadar O}_2 \text{ di flue gas} = \dots \left(\frac{\text{kg mol}}{\text{jam}} \right)$$

➤ O₂ membentuk CO

$$\text{Mol flue gas} \left(\frac{\text{kg mol}}{\text{jam}} \right) \times \text{kadar CO di flue gas (\%mol)} \times \text{koefisien reaksi} \left(\frac{\text{mol O}_2}{\text{mol CO}} \right) = \dots \left(\frac{\text{kg mol}}{\text{jam}} \right)$$

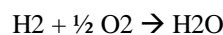
➤ O₂ membentuk CO₂

$$\text{Mol flue gas} \left(\frac{\text{kg mol}}{\text{jam}} \right) \times \text{kadar CO}_2 \text{ di flue gas (\%mol)} \times \text{koefisien reaksi} \left(\frac{\text{mol O}_2}{\text{mol CO}_2} \right) = \dots \left(\frac{\text{kg mol}}{\text{jam}} \right)$$

➤ O₂ membentuk H₂O

$$\text{O}_2 \text{ di dry air} - \text{excess O}_2 \text{ di flue gas} - \text{O}_2 \text{ yang bereaksi menjadi CO} - \text{O}_2 \text{ yang bereaksi menjadi CO}_2 = \dots \left(\frac{\text{kg mol}}{\text{jam}} \right)$$

➤ Hidrogen yang terbakar oleh oksigen di dalam regenerator adalah:



$$\text{H}_2 \text{ yang membentuk H}_2\text{O} = \text{O}_2 \text{ membentuk H}_2\text{O} \times \left(\frac{2 \text{ mol H}_2}{1 \text{ mol O}_2} \right)$$

$$\text{Coke dari H}_2 = \text{H}_2 \text{ yang membentuk H}_2\text{O} = \dots = \left(\frac{\text{kg mol}}{\text{jam}} \right)$$

7. Menghitung total massa coke yang terbakar

Menghitung total massa coke terbakar dapat dilihat dari total carbon yang terbakar menjadi CO dan CO₂, dan hidrogen yang terbakar menjadi H₂O.

Jumlah *coke* dari karbon = C dalam *coke* x BM Carbon

Total *Coke* terbakar = Jumlah *coke* dari karbon + jumlah *coke* dari hydrogen

$$= (\text{Coke dari C} \times \text{BM C}) + (\text{Coke dari H}_2 \times \text{BM H}) \\ = \dots \left(\frac{\text{kg mol}}{\text{jam}} \right)$$

8. Menghitung kandungan H₂ dalam *coke* (% wt)

$$\left(\frac{\text{Jumlah coke yang dibakar dari H}}{\text{Total coke}} \right) \times 100\% = \dots \%$$

9. Menghitung yield *coke*

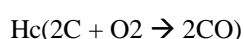
$$\left(\frac{\text{Total coke}}{\text{kapasitas feed}} \right) \times 100\% = \dots \%$$

A. Menghitung Efisiensi Thermal

1. Perhitungan Panas Pembakaran *Coke* di regenerator ($\Delta H_{\text{pembakaran coke}}$)

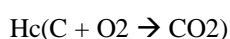
$$\text{Temperatur} \quad \text{rata-rata} \\ = \left(\frac{\text{temp. dense bed} + \text{temp. dilute bed} + \text{temp.stuck}}{3} \right)$$

- Panas Pembakaran (H_c) C untuk membentuk CO



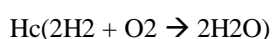
$$= (\Delta H^\circ 298 + (\text{Cp} \times \text{suhu terpanas rata-rata regenerator})) \times \left(\frac{2 \text{ mol CO}}{1 \text{ mol O}_2} \right) \times \text{mol O}_2 \text{ membentuk CO}$$

- Panas Pembakaran (H_c) C untuk membentuk CO₂



$$= (\Delta H^\circ 298 + (\text{Cp} \times \text{suhu terpanas rata-rata regenerator})) \times \left(\frac{1 \text{ mol CO}}{1 \text{ mol O}_2} \right) \times \text{mol O}_2 \text{ membentuk CO}_2$$

- Panas Pembakaran (H_c) H untuk membentuk H₂O



$$= (\Delta H^\circ 298 + (\text{Cp} \times \text{suhu terpanas rata-rata regenerator})) \times \left(\frac{2 \text{ mol H}_2\text{O}}{1 \text{ mol O}_2} \right) \times \text{mol O}_2 \text{ membentuk CO}_2$$

- Panas Pembakaran *coke* ($\Delta H_{\text{pembakaran coke}}$)
Panas C membentuk CO + panas C membentuk CO₂ + Panas H membentuk H₂O = ...kgcal

- Panas Pembakaran harus dikoreksi dengan kebutuhan *coke* hidrogen dengan menggunakan persamaan:

$$\text{H}_2 \text{ Correction factor} = 629,4471 - (74,7780 \times \text{wt\% H}_2 \text{ in coke})$$

$$\Delta H_{\text{pembakaran coke}} = \Delta H_{\text{pembakaran coke}} + \text{koreksi}$$

2. Perhitungan Panas yang dikonsumsi untuk memanaskan udara pembakaran (ΔH_{udara})

$$= n \times \text{Cp} \times \Delta T$$

$$= \left(\frac{\text{Udara kering}}{\text{Total coke}} \right) \times \text{Cp} \times \Delta T \text{ (temperature regenerator - temperatur discharge main air blower MAB)} = \dots \text{kgcal/kg coke}$$

3. Perhitungan Panas yang dikonsumsi untuk memanaskan kandungan air di udara pembakaran ($\Delta H_{\text{H}_2\text{O}}$)

$$= n \times \text{Cp} \times \Delta T$$

$$= \left(\frac{\text{H}_2\text{O dalam udara}}{\text{Total Coke}} \right) \times \text{Cp} \times \Delta T \text{ (Temperatur regenerator - temperatur discharge main air blower)} = \dots \text{kgcal/kg coke}$$

4. Perhitungan Panas yang dikonsumsi untuk memanaskan *coke* (ΔH_{coke})

$$= \text{Cp} \times \Delta T$$

$$= \text{Cp} \times (\text{temperatur regenerator-temperatur riser reactor}) = \dots \text{kgcal/kg coke}$$

5. Perhitungan Panas yang dikonsumsi untuk memanaskan katalis di cat cooler ($\Delta H_{\text{removal}}$)

$$\text{Q cooler A/D} = (\text{flowsteam 15V101A} \times (\text{enthalpy steam product} - \text{enthalpy water inlet})) + (\text{blowdown 15V101A} \times (\text{enthalpy blowdown catalyst} - \text{enthalpy water inlet}))$$

$$\text{Q cooler B/C} = (\text{flowsteam 15V101B} \times (\text{enthalpy steam product} - \text{enthalpy water inlet})) + (\text{blowdown 15V101B} \times (\text{enthalpy blowdown catalyst} - \text{enthalpy water inlet})) \times$$

$$= \left(\frac{\text{Cat cooler duty A/D}}{\text{Total Coke}} \right) + \left(\frac{\text{Cat cooler duty B/C}}{\text{Total Coke}} \right)$$

6. Neraca Panas Regenerator

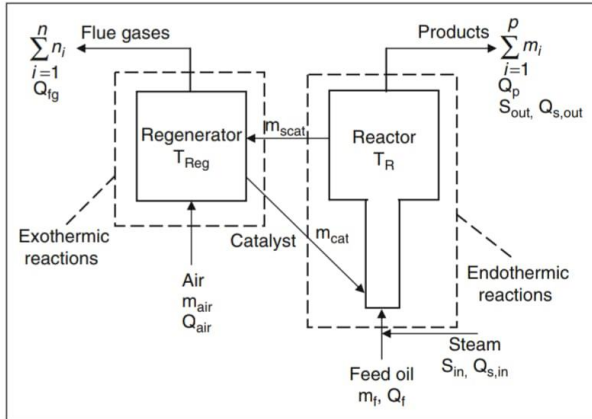
Dengan menggunakan ketetapan Typical Regenerator Heat Loss 250 btu/lb *coke*

$$\Delta H_{\text{regenerasi katalis}} = \Delta H_{\text{pembakaran coke}} - \Delta H_{\text{coke}} - \Delta H_{\text{udara}} - \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta H_{\text{heat loss}} - \Delta H_{\text{removal}}$$

7. Perhitungan efisiensi thermal regenerator (% efisiensi)

$$= \left(\frac{\Delta H \text{ regenerasi katalis}}{\Delta H \text{ pembakaran coke}} \right) \times 100\% = \dots \%$$

2.5. Desain Regenerator



Regenerator dalam proses Residue Catalytic Cracker (RCC) di PT Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan berfungsi untuk menghilangkan coke yang terbentuk pada katalis selama proses perengkahan dengan cara membakarnya menggunakan udara pembakaran. Proses ini penting untuk mengembalikan aktivitas katalis yang terdeaktivasi akibat akumulasi coke. Dalam penelitian ini, pengaruh suplai udara pembakaran terhadap yield coke dan efisiensi termal dianalisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan laju udara pembakaran dapat meningkatkan yield coke, karena lebih banyak oksigen tersedia untuk membakar karbon. Namun, distribusi udara yang tidak optimal dapat menyebabkan pembakaran yang tidak merata, mempengaruhi efisiensi termal dan memperbesar pembentukan coke pada siklus berikutnya. Oleh karena itu, pengendalian distribusi udara yang tepat sangat penting untuk memastikan pembakaran yang efisien dan untuk menjaga efisiensi termal regenerator, yang pada gilirannya mendukung kestabilan operasi unit RCC secara keseluruhan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data dari hasil pengamatan kemudian dilakukan perhitungan sesuai tahapan yang dijabarkan sebelumnya. Perhitungan *yield coke* dan *efficiency thermal* selama satu bulan mulai tanggal 1 Juni 2025 sampai 30 Juni 2025 akan dibandingkan dengan yield coke dan efficiency rujukan. Berikut hasil perhitungan kebutuhan udara yang disajikan dalam table.

Tabel 8. Hasil Perhitungan *yield coke* di Regenerator R-15-103/104

Tanggal	Yield coke (%)
1 juni 2025	8,198631
2 juni 2025	8,212626
3 juni 2025	8,449952
4 juni 2025	8,626389
5 juni 2025	8,588311

6 juni 2025	8,567536
7 juni 2025	8,482065
8 juni 2025	8,474141
9 juni 2025	8,675465
10 juni 2025	8,628975
11 juni 2025	8,684447
12 juni 2025	8,327661
13 Juni 2025	8,384772
14 juni 2025	8,355541
15 juni 2025	8,393196
16 juni 2025	8,391502
17 juni 2025	8,394349
18 juni 2025	8,449845
19 juni 2025	8,866673
20 juni 2025	8,900817
21 juni 2025	8,603905
22 juni 2025	8,777008
23 juni 2025	9,044442
24 juni 2025	8,564933
25 juni 2025	8,90533
26 juni 2025	8,760761
27 juni 2025	8,90381
28 juni 2025	9,134633
29 juni 2025	9,167826
30 juni 2025	9,361265
Rata-rata	8,64256

Tabel 9. Hasil Perhitungan *thermal efficiency* Regenerator R-15-103/104

Tanggal	Thermal Efficiency (%)
1 juni 2025	61,91511057
2 juni 2025	61,97954196
3 juni 2025	62,47635383
4 juni 2025	62,19476411
5 juni 2025	62,2401508
6 juni 2025	62,44395949
7 juni 2025	61,93944552
8 juni 2025	61,86635312
9 juni 2025	62,20494256
10 juni 2025	62,47085783
11 juni 2025	62,27196719
12 juni 2025	61,70074652
13 Juni 2025	61,95068044
14 juni 2025	61,9019382
15 juni 2025	61,72812911
16 juni 2025	62,00229862
17 juni 2025	61,7040452
18 juni 2025	61,92800145
19 juni 2025	62,50470671
20 juni 2025	62,35005293
21 juni 2025	62,12641922
22 juni 2025	62,35133591
23 juni 2025	62,83199202
24 juni 2025	62,04595154
25 juni 2025	62,6053911
26 juni 2025	62,51176394
27 juni 2025	62,61298484
28 juni 2025	63,06815839
29 juni 2025	63,15009042
30 juni 2025	62,69688771

Rata-rata	62,2591673
-----------	------------

3.1 Hubungan Antara Suplai Udara dan Yield Coke

Hasil perhitungan yield coke pada regenerator 15-R-103/104 selama periode pengamatan menunjukkan kisaran nilai antara 8,19% hingga 9,36% dengan rata-rata 8,64%. Berdasarkan grafik hubungan udara pembakaran terhadap yield coke, terlihat adanya kecenderungan bahwa peningkatan laju udara pembakaran diikuti dengan kenaikan nilai yield coke [3]. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui mekanisme pembakaran coke dan karakteristik reaksi perengkahan katalitik



Gambar 2. Grafik Udara Pembakaran vs Yield Coke

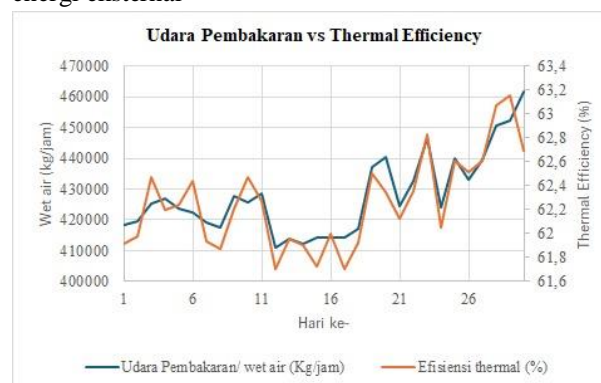
Pada dasarnya, yield coke dipengaruhi oleh jumlah coke yang terbentuk di reaktor serta keberhasilan proses regenerasi dalam membakar deposit karbon yang menempel pada katalis. Ketika suplai udara pembakaran ditingkatkan, jumlah oksigen yang tersedia untuk mengoksidasi karbon pada katalis juga meningkat. Kondisi ini menyebabkan lebih banyak karbon yang terbakar, sehingga yield coke yang dihitung dari rasio massa coke terhadap massa umpan menunjukkan nilai yang lebih tinggi [4]. Dengan kata lain, semakin besar udara pembakaran, maka semakin besar pula jumlah coke yang terdeteksi dalam perhitungan yield. Selain itu, kenaikan yield coke juga dapat dikaitkan dengan kondisi katalis yang sebagian masih terdeaktivasi akibat pembakaran yang tidak merata. Distribusi udara yang tidak optimal berpotensi menimbulkan zona dengan konsentrasi oksigen berlebih maupun kekurangan oksigen. Pada zona dengan suplai oksigen berlebih, terjadi pembakaran coke secara lebih intensif, yang memperbesar kontribusi nilai yield coke. Sebaliknya, pada zona dengan suplai oksigen terbatas, coke tidak terbakar sempurna sehingga katalis kembali ke reaktor dalam kondisi sebagian masih terlapisi karbon. Hal ini mendorong pembentukan coke tambahan pada siklus berikutnya dan pada akhirnya tetap meningkatkan yield coke secara keseluruhan.

Selain pengaruh distribusi udara, karakteristik umpan yang memiliki kecenderungan membentuk coke tinggi juga turut menentukan hasil yang diperoleh. Fraksi

residu berat seperti vacuum residue mengandung hidrokarbon kompleks yang lebih rentan menghasilkan coke melalui reaksi polimerisasi dan kondensasi aromatik. Ketika kondisi operasi regenerator tidak seimbang, peningkatan pemakaian udara hanya memperbesar pembakaran coke tanpa secara signifikan menekan laju pembentukan coke baru di reaktor. Dengan demikian, hubungan antara udara pembakaran dan yield coke menunjukkan bahwa peningkatan laju udara tidak serta-merta menurunkan nilai yield, melainkan cenderung meningkatkan akumulasi karbon yang terbakar [5]. Hal ini menegaskan bahwa aspek yang lebih penting bukan hanya jumlah udara yang disuplai, tetapi juga distribusinya di dalam regenerator. Pengendalian distribusi udara menjadi kunci agar pembakaran berlangsung merata, coke terbakar dengan efisien, dan yield coke dapat dijaga pada rentang yang optimal.

3.2 Hubungan antara Udara Pembakaran dan Thermal Efficiency

Hasil perhitungan efisiensi termal regenerator 15-R-103/104 selama periode pengamatan menunjukkan nilai antara 61,70% hingga 63,15% dengan rata-rata 62,26%. Berdasarkan grafik hubungan udara pembakaran terhadap efisiensi termal, terlihat bahwa peningkatan laju udara pembakaran diikuti dengan kecenderungan kenaikan efisiensi termal, meskipun perubahannya relatif kecil dan berada dalam rentang yang sempit. Efisiensi termal regenerator menggambarkan sejauh mana panas hasil pembakaran coke dapat dimanfaatkan kembali untuk mendukung proses cracking di riser [6]. Peningkatan laju udara pembakaran berkontribusi terhadap efisiensi termal melalui dua mekanisme utama. Pertama, dengan bertambahnya suplai oksigen, pembakaran coke berlangsung lebih sempurna, menghasilkan pelepasan panas yang lebih besar dan merata. Kondisi ini meningkatkan kemampuan katalis dalam menyerap panas sebelum kembali ke reaktor, sehingga mendukung kestabilan suhu operasi riser dan mengurangi kebutuhan energi eksternal



Gambar 2. Grafik Hubungan Udara vs Thermal Efficiency

Peningkatan udara pembakaran berperan dalam menjaga profil temperatur regenerator agar tetap berada pada rentang operasi optimal. Suplai udara yang memadai mencegah terbentuknya zona pembakaran tidak sempurna yang dapat menyebabkan fluktuasi temperatur serta hotspot lokal. Dengan distribusi udara yang merata, panas dari reaksi eksotermis pembakaran coke dapat diserap secara lebih konsisten oleh katalis, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi dalam sistem [7]. Namun, hubungan positif antara peningkatan udara pembakaran dengan efisiensi termal tidak bersifat linear tanpa batas. Suplai udara yang terlalu berlebih dapat menimbulkan efek sebaliknya, yaitu peningkatan beban pendinginan melalui catalyst cooler maupun heat loss sistem. Hal ini berpotensi menurunkan efisiensi termal karena sebagian energi panas terbuang untuk mengatasi kelebihan oksidasi dan pendinginan tambahan. Oleh sebab itu, terdapat titik keseimbangan di mana suplai udara cukup untuk membakar coke secara optimal tanpa menimbulkan kelebihan energi yang harus dibuang.

Dengan begitu, pengamatan menunjukkan bahwa pemakaian udara pembakaran yang terkendali mampu meningkatkan efisiensi termal regenerator, namun pengaturan jumlah dan distribusi udara harus dilakukan secara hati-hati. Hal ini bertujuan untuk memaksimalkan pemanfaatan panas hasil pembakaran coke sekaligus meminimalkan kehilangan energi, sehingga efisiensi termal sistem RCC dapat dijaga pada kondisi optimal [8].

3.3 Hubungan antara Udara Pembakaran dan Thermal Efficiency

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai yield coke rata-rata sebesar 8,64% dan efisiensi termal rata-rata sebesar 62,26% pada regenerator 15-R-103/104 Unit RCC PT Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan. Kedua parameter ini memiliki implikasi langsung terhadap stabilitas operasi, efisiensi energi, dan kinerja produk pada unit Residue Catalytic Cracker [9]. Nilai yield coke yang relatif tinggi mengindikasikan adanya akumulasi karbon yang signifikan pada katalis. Hal ini dapat disebabkan oleh dominasi reaksi cracking yang tidak selektif, karakteristik umpan yang cenderung membentuk coke, serta distribusi udara pembakaran yang belum sepenuhnya merata [10]. Yield coke yang tinggi berdampak pada peningkatan kebutuhan udara pembakaran serta beban pendinginan di catalyst cooler. Apabila tidak dikendalikan, kondisi ini dapat mempercepat laju deaktivasi katalis, menurunkan aktivitas katalitik, serta memengaruhi distribusi produk, khususnya penurunan hasil gasoline dan LPG akibat pergeseran reaksi menuju pembentukan coke.

Efisiensi termal yang berada pada kisaran 62% menunjukkan bahwa sebagian besar panas hasil

pembakaran coke telah dimanfaatkan dalam sistem, namun masih terdapat kehilangan energi yang cukup signifikan [11]. Kehilangan panas ini terutama terjadi akibat ketidakseimbangan suplai udara, distribusi panas yang kurang merata, serta beban pendinginan tambahan pada catalyst cooler. Apabila efisiensi termal menurun lebih jauh, unit RCC akan membutuhkan energi eksternal tambahan untuk menjaga suhu operasi riser, yang pada akhirnya meningkatkan biaya operasional kilang. Interaksi antara yield coke dan efisiensi termal juga penting untuk diperhatikan. Yield coke yang tinggi meningkatkan ketersediaan panas dari pembakaran, namun jika panas tersebut tidak termanfaatkan secara optimal, efisiensi termal menurun dan energi terbuang melalui pendinginan maupun heat loss sistem. Sebaliknya, yield coke yang terlalu rendah dapat menandakan pembakaran yang tidak sempurna sehingga katalis kembali ke reaktor dalam kondisi kurang aktif, yang berdampak pada menurunnya konversi umpan dan berkurangnya stabilitas operasi [12].

Dengan demikian, implikasi utama dari hasil penelitian ini adalah perlunya pengendalian yang presisi terhadap suplai dan distribusi udara pembakaran. Optimasi pengaturan udara akan menurunkan yield coke ke tingkat yang lebih ideal sekaligus meningkatkan efisiensi termal, sehingga sistem RCC dapat beroperasi secara stabil, efisien, dan menghasilkan produk bernilai tinggi sesuai target kilang.

4. KESIMPULAN

1. Rata-rata yield coke sebesar 8,64% menunjukkan akumulasi karbon yang cukup tinggi, yang disebabkan oleh ketidakseimbangan suplai udara pembakaran dan karakteristik umpan residu berat.
2. Rata-rata efisiensi termal sebesar 62,26% mengindikasikan pemanfaatan panas hasil pembakaran coke sudah cukup baik, namun masih terdapat kehilangan energi yang dapat diminimalkan.
3. Peningkatan laju udara pembakaran cenderung menaikkan yield coke sekaligus memberikan kontribusi terhadap kenaikan efisiensi termal, meskipun hubungan ini tidak sepenuhnya linier.
4. Stabilitas dan efisiensi operasi Unit RCC sangat bergantung pada keseimbangan antara suplai udara, pembakaran coke, dan distribusi panas di dalam regenerator.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diucapkan kepada pihak-pihak yang telah menjadi mitra penelitian ini. Terutama pihak PT. PERTAMINA INTERNATIONAL REFINERY UNIT VI BALONGAN yang telah memberi atensi khusus berupa kerjasama penelitian dengan outcome tulisan ilmiah

Daftar Pustaka

- [1] I. Brunner, M. M. Indrajaja, and H. Yulinawati, "Analisis Emisi dari Pembakaran Bahan Bakar Gas dengan Pendekatan Perhitungan Stoikiometrik," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 9, no. 3, 2024.
- [2] E. Prasetyo and R. Mahil, "Analisa Efisiensi Kinerja Furnace (15-F-102) Pada Unit 15 Residue Catalytic Cracker (RCC) di PT X-Jawa Barat," *Jurnal Migasian*, vol. 8, no. 1, pp. 21–32, 2024.
- [3] M. D. P. Hamidi, "Penggunaan Katalis Pt/Sn- Γ - Al_2O_3 -Cl pada Catalytic Reforming N Parafin," Bachelor's Thesis, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, n.d. [4] W. D. Callister and D. G. Retwisch, "Material science and engineering", New York: John Wiley & Sons, 2010.
- [4] F. Hapsari, N. Siregar, and A. Yupita, "Performance Analysis of Regeneration Tower Unit 32 Continuous Catalyst Regeneration Based on Coke Content in Catalysts at PT X," *J-Chemeng*, vol. 1, no. 1, pp. 6–12, 2023.
- [5] R. Kardiani, D. E. Wibowo, L. Herlina, and E. Kurniyaningrum, *Revolusi Konstruksi Gedung Proton Beam: Inovasi High Density Concrete (HDC) untuk Perlindungan Radiasi*, Yogyakarta: Deepublish, 2025.
- [6] N. S. Laila, Y. Nurfatihah, E. Erlinawati, I. Rusnadi, and K. A. Ridwan, "Efisiensi Termal Ruang Bakar Water Tube Boiler Ditinjau dari Pengaruh Rasio Udara–Bahan Bakar Solar dan Gas pada Produksi Superheated Steam," *Jurnal Penelitian Sains*, vol. 26, no. 3, pp. 298–303, 2024.
- [7] M. S. Maulana, *Laporan Kerja Praktik – Evaluasi Kinerja Heat Exchanger 15-E-101 pada Unit RCC di PT Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan Indramayu Jawa Barat*, 2023.
- [8] H. E. Nur'ain and N. Hidayati, "Evaluasi Kinerja Hot Main Column Bottoms Raw Oil Exchanger (15-E-101) pada Unit Residue Catalytic Cracking (RCC)," 2021.
- [9] R. H. Perry and D. Green, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 7th ed., New York: McGraw-Hill, 1997.
- [10] Pertamina, *Pedoman Operasi Kilang di Pertamina UP-VI Balongan*, Balongan: Pertamina, 1993.
- [11] B. Y. Prasetyo, "Analisis Pengaruh Variasi Waktu Buka-pintu terhadap Konsumsi Daya Sistem Pendingin," in *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, vol. 16, no. 1, pp. 336–340, Aug. 2025.
- [12] E. Prasetyo and R. Mahil, "Analisa Efisiensi Kinerja Furnace (15-F-102) pada Unit 15 Residue Catalytic Cracker (RCC) di PT X-Jawa Barat,"