

Pengelolaan Emisi Gas Rumah Kaca melalui Teknologi Scrubbing NH₃ Terintegrasi dengan *Machine Learning* untuk Pemantauan dan Prediksi Emisi dengan *Decision Tree* dan *Long Short-Term Memory*

Lomba Inovasi KURVA 2024
PT Pupuk Kujang
22 Agustus 2024

Disusun Oleh IGCC Team



Areta Vahtsa



Venus Angela



Zalzalbila Nurmalita



Imam Reza



PENDAHULUAN



Latar Belakang

- Efek rumah kaca menyebabkan pemanasan global dan berdampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan
- Efek rumah kaca disebabkan oleh gas rumah kaca, dua diantaranya adalah CO₂ dan NO_x
- Indonesia masih menempati posisi lima sebagai negara penghasil emisi karbon kumulatif terbanyak di dunia.
- Masyarakat Indonesia masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil dan teknologi karbon konvensional.
- Indonesia memiliki peraturan dan kebijakan mengenai pengelolaan karbon seperti:
 - Peraturan Presiden No.14 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kegiatan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon
 - Peraturan Menteri LHK No. P.17 tahun 2019 tentang Baku Mutu Emisi bagi Kegiatan Industri Pupuk.
- Batas ambang yang ditetapkan dalam peraturan masih terlalu tinggi sehingga berdampak buruk bagi kesehatan.

Latar Belakang

- Teknologi Carbon Capture and Storage (CCS) akan berkontribusi lebih dari 10% pengurangan emisi global pada tahun 2050.
- Menurut IEA 2021, CCS dapat menangkap CO₂ sebanyak 6 Mt pertahun pada 2030 dan 1990 Mt pertahun pada 2060 di sektor industri Indonesia
- Saat ini, untuk memantau kualitas udara, Kementrian KLHK mewajibkan menggunakan CEMS (Continuous Emission Monitoring System), sistem yang memantau tingkat emisi pada plant industry dan mencatat besaran emisi setiap 5 menit.
- CEMS belum dapat melakukan memprediksi besaran emisi.
- Kemampuan prediksi besaran emisi diperlukan agar dapat dilakukan pengendalian untuk mematuhi regulasi yang berlaku.

Tujuan

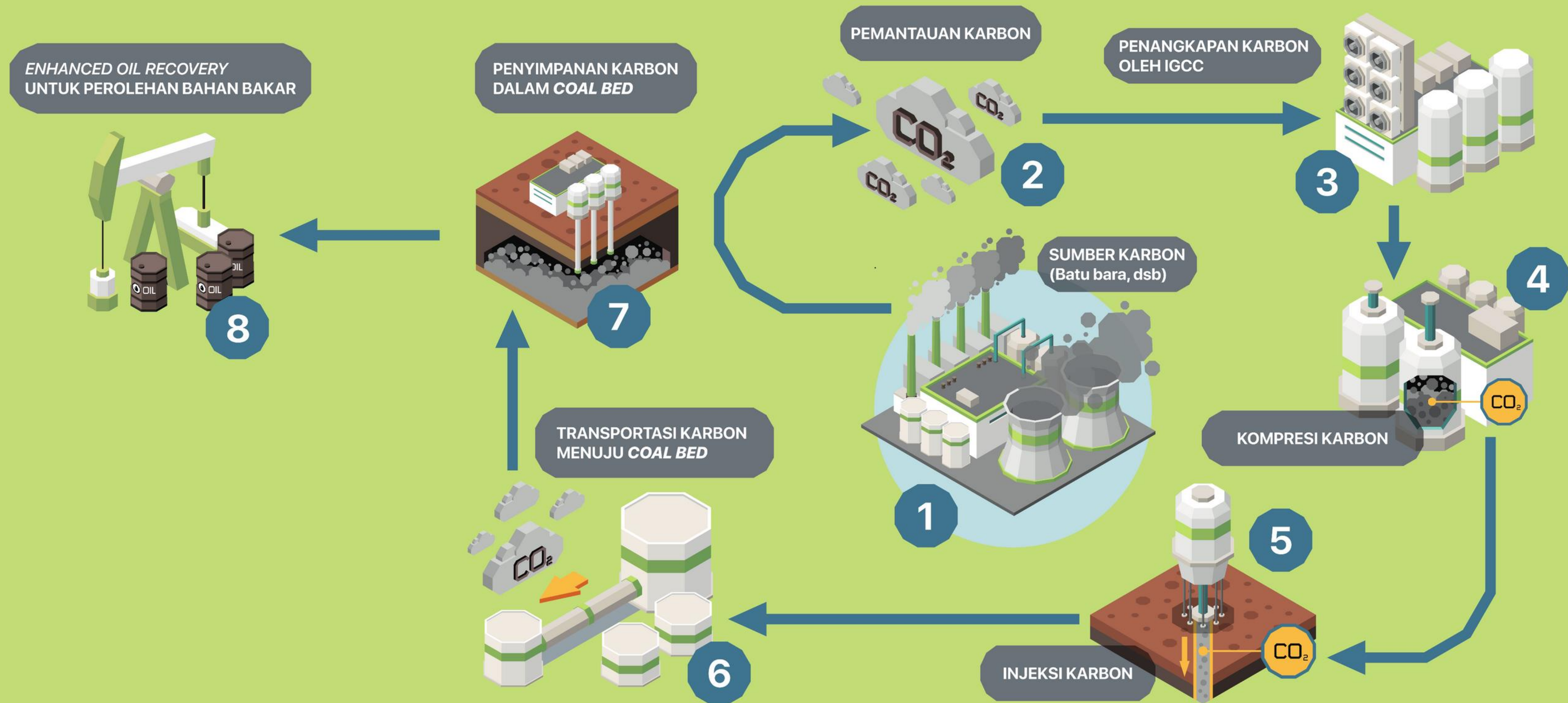
- Menggabungkan metode CCS dan peramalan menggunakan *machine learning* sebagai sistem pemantauan

Rumusan Masalah

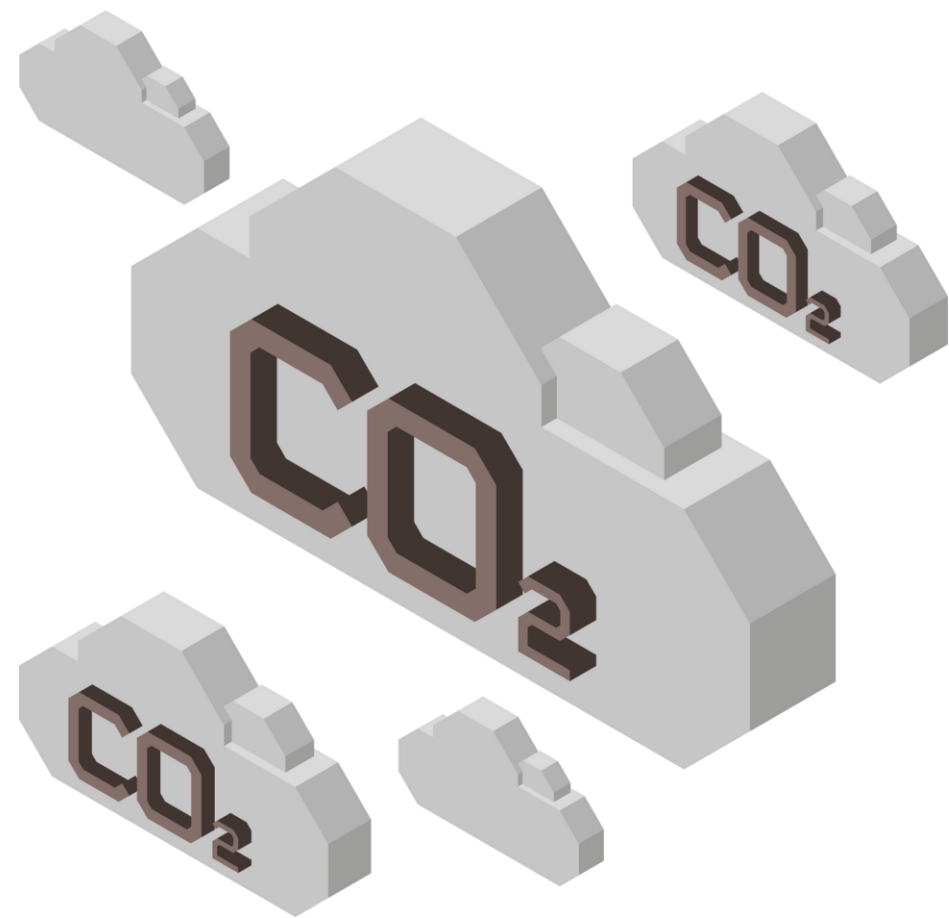
1. Bagaimana metode IGCC dapat mengoptimalkan penangkapan CO₂ hingga 95% dengan menggunakan pelarut MDEA dibandingkan dengan metode post-pasca-pembakaran?
2. Berapa persen akurasi sistem pemantauan dan peramalan gas emisi secara real-time dalam mengklasifikasikan kondisi plant dan memprediksi gas emisi?
3. Bagaimana CCS dapat membantu memitigasi perubahan iklim dengan kapasitas sekuestrasi yang besar dan berapa persen peningkatan produksi tambahan melalui EOR?

RANCANGAN INOVASI TEKNOLOGI





PEMANTAUAN CO₂



Teknologi yang digunakan: *machine learning*

Decision Tree untuk klasifikasi aktif atau tidaknya plant berdasarkan gambar

Model dilatih dengan menggunakan 6395 gambar



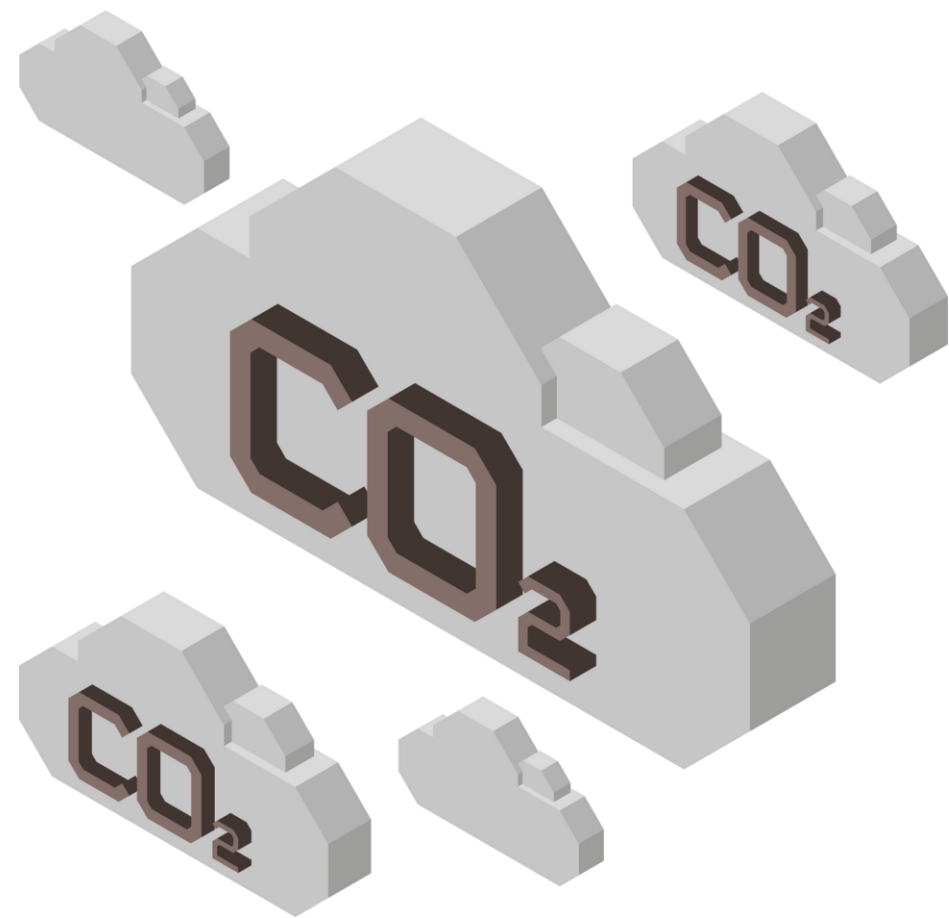
Label: ON



Label: OFF

Metrik	Nilai
Akurasi	0.78
F1 Score	0.82
Precision	0.80
Recall	0.84

PERAMALAN JUMLAH EMISI CO2

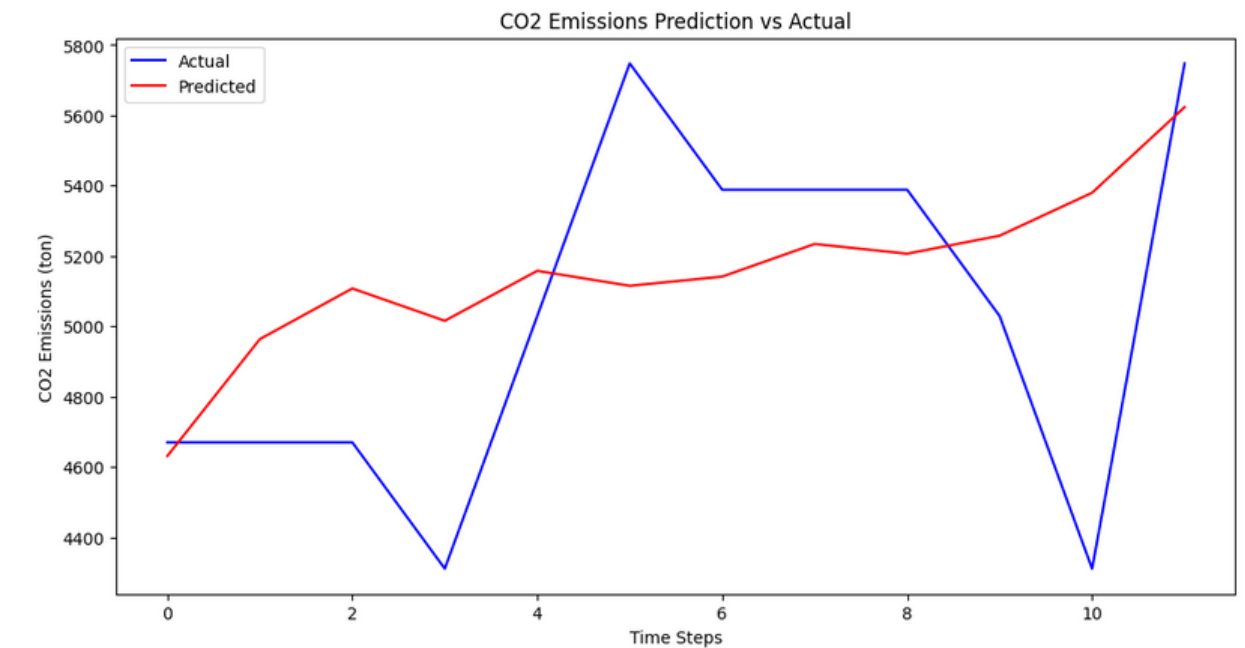


Teknologi yang digunakan: *Long Short-term Memory (LSTM)*

Metode yang digunakan: *Multivariate Time Series Forecasting*

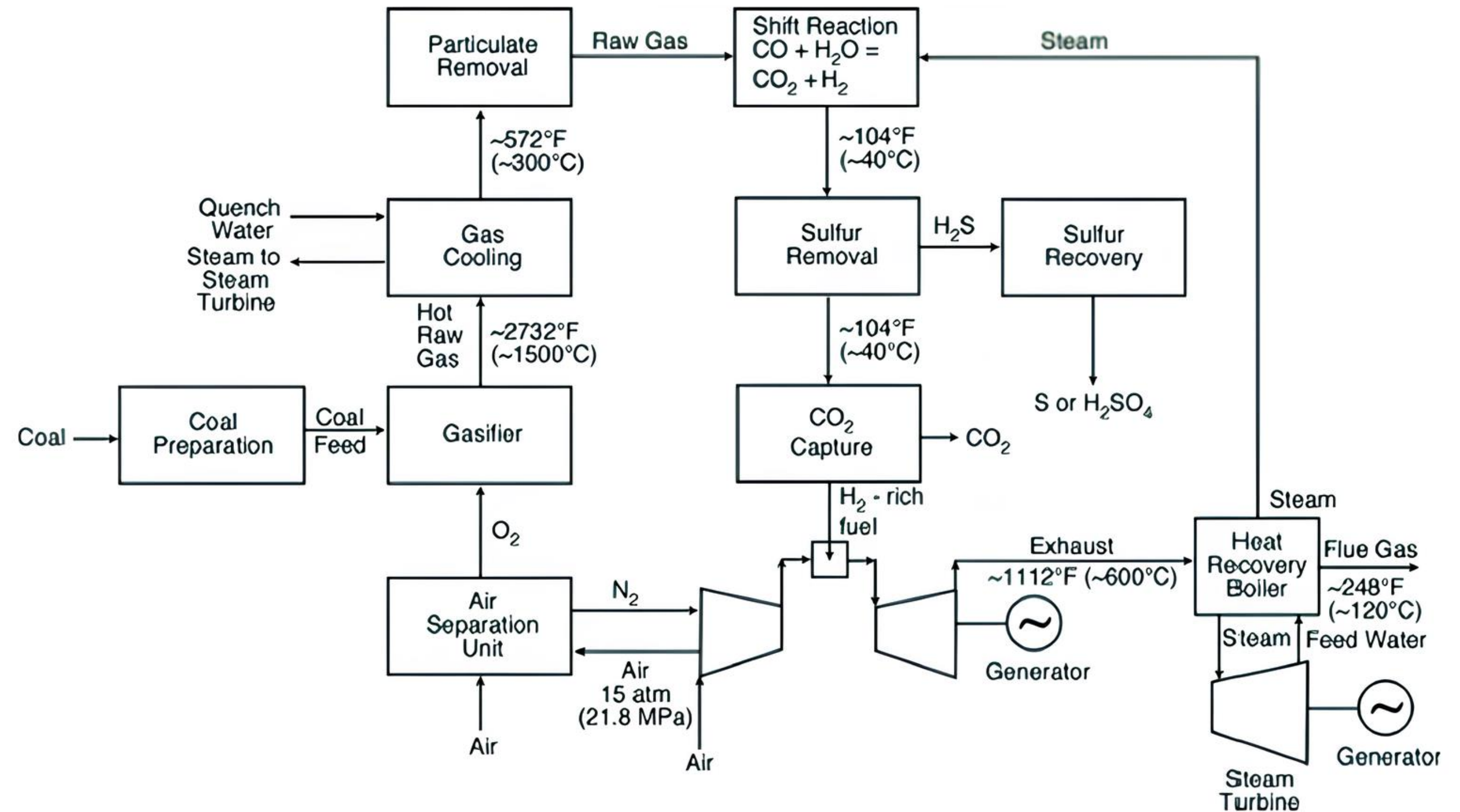
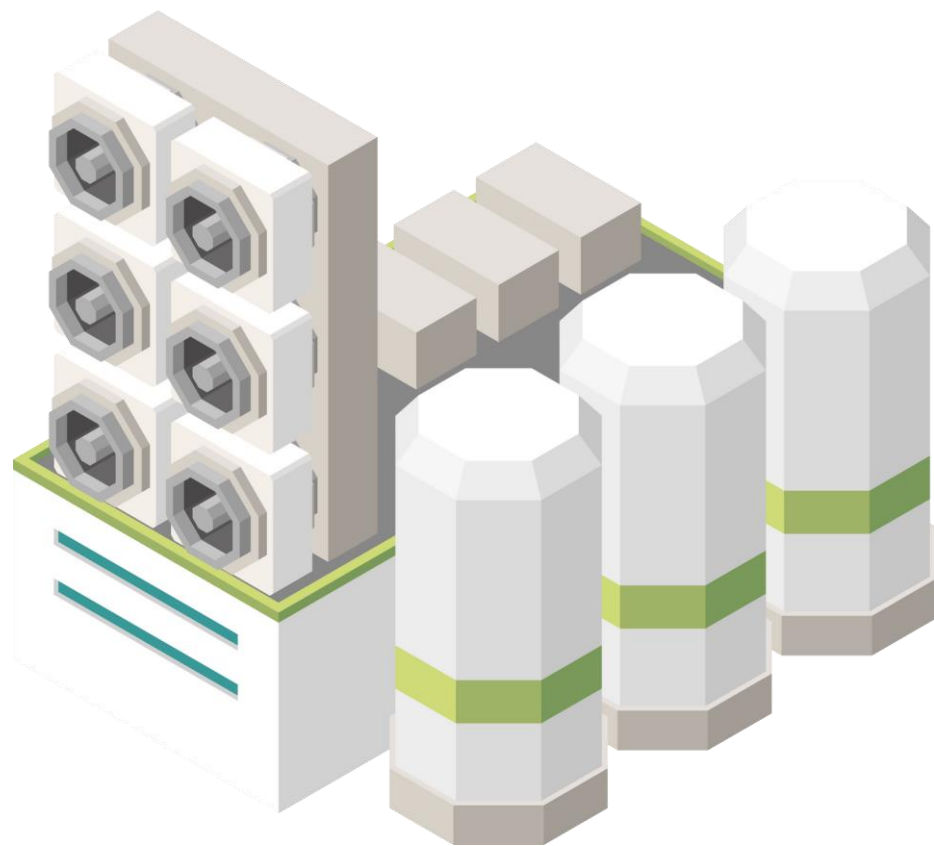
Data yang digunakan: Climate TRACE Emissions Data (Manufacturing Sector), rentang waktu 2021-2023.

Metriks	Nilai
<i>mean-squared error (MSE)</i>	0.0765

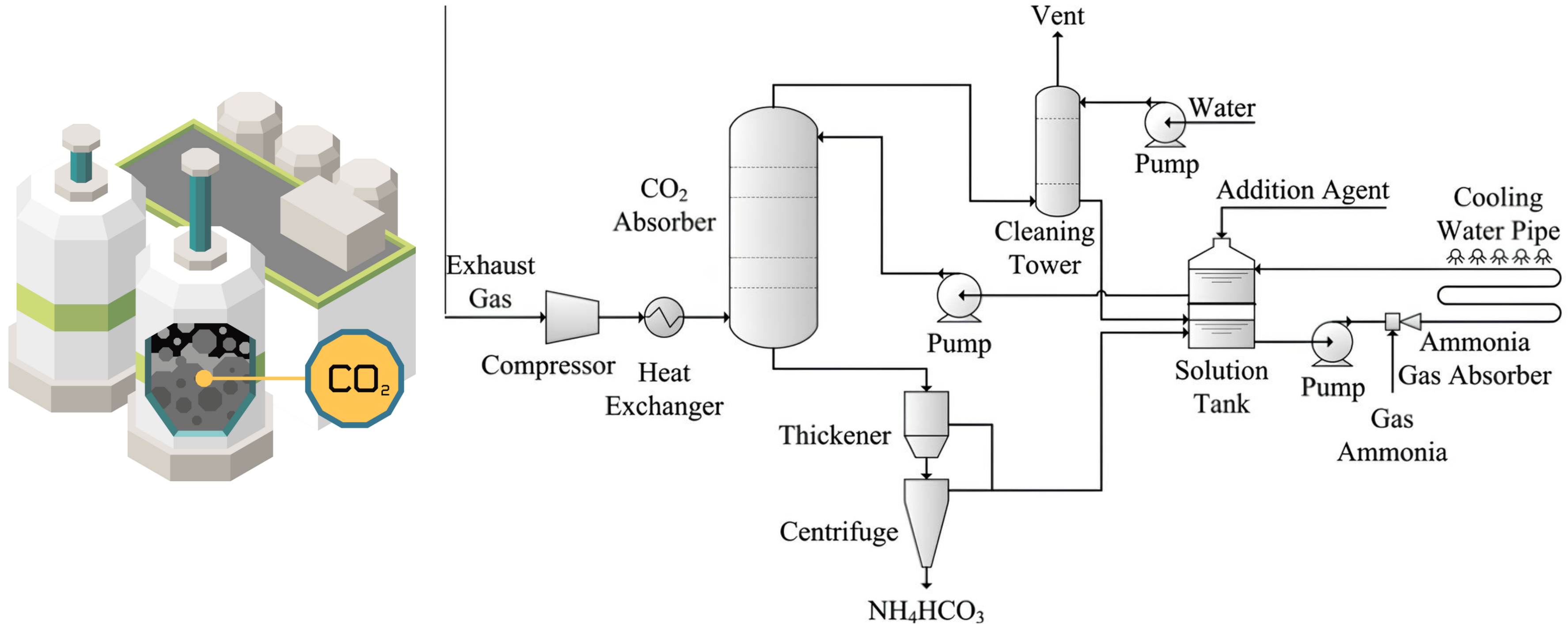


Grafik hasil peramalan emisi CO2

PENANGKAPAN CO₂ IGCC PLANT



SCRUBBING AMINA UNTUK MEMISAHKAN GAS EMISI



CO₂-EOR: Overview

Tiga Kunci Utama

1. Kedalaman: > 1 km
2. Lokasi:
 - Reservoir dan kandungannya
 - Aksesibilitas
3. Kapasitas

Storage Overview

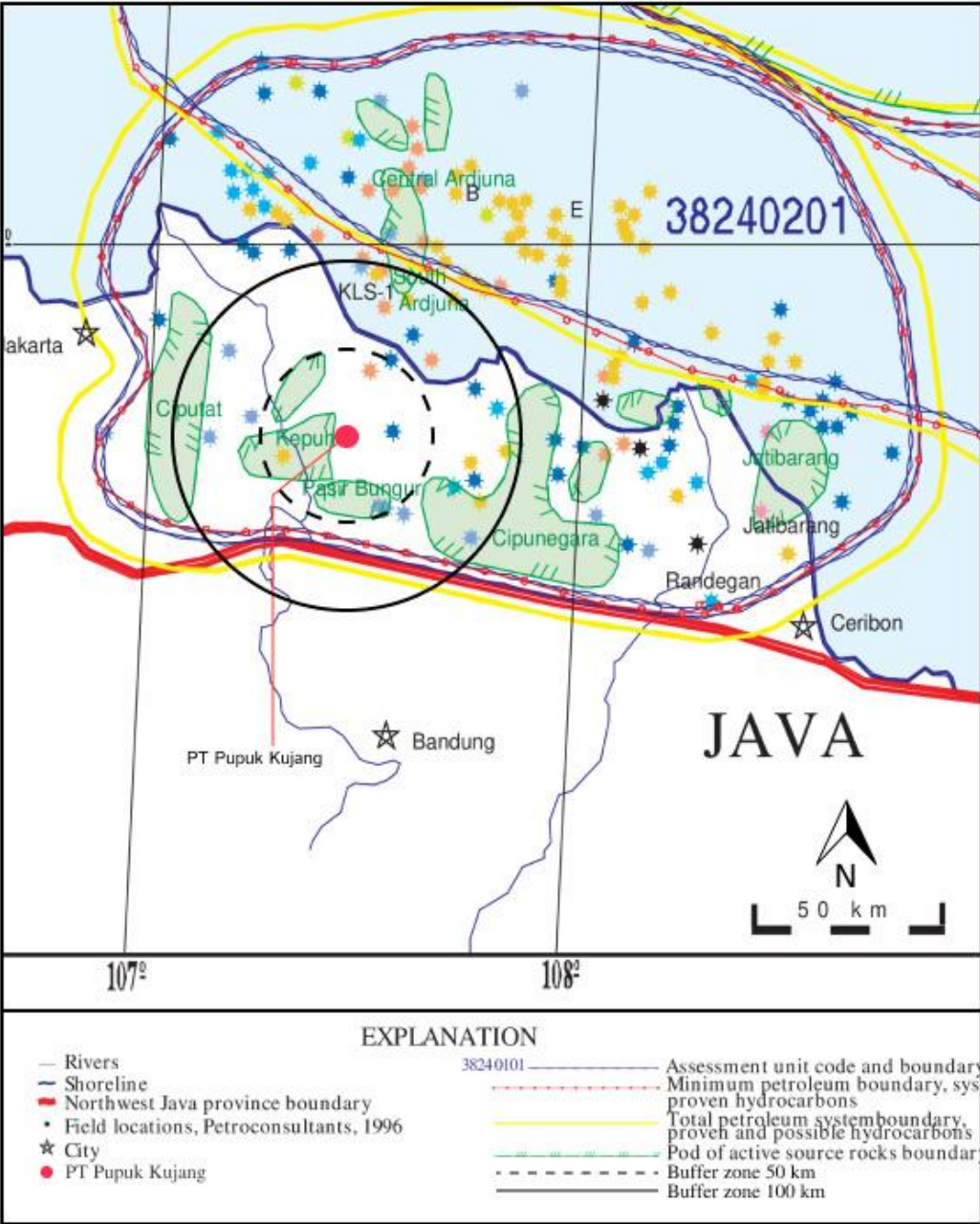
1. Saline formation
2. Use of CO₂ in EOR/EGR
3. Depleted oil and gas reservoir
 - Sandstone or carbonate
 - Porous and permeable
 - Contains fluids and gases



CO2-EOR: Klasterisasi CO2

Peta Klasterisasi CO2 Terhadap Lapangan Minyak dan Gas Bumi
Cekungan Jawa Barat Utara (Modifikasi Noble dkk., 1997)

Dibuat Oleh: Tim IGCC
Tahun 2024



Tabel 1. Asumsi Konsumsi CO2 dan *Recovery Factor* Minyak dan Gas Bumi

CO2-EOR Recovery Factor (%OOIP)		CO2 Requirement (Ton/STB)	
Miscible	Immiscible	Miscible	Immiscible
12%	6%	0.33	0.6

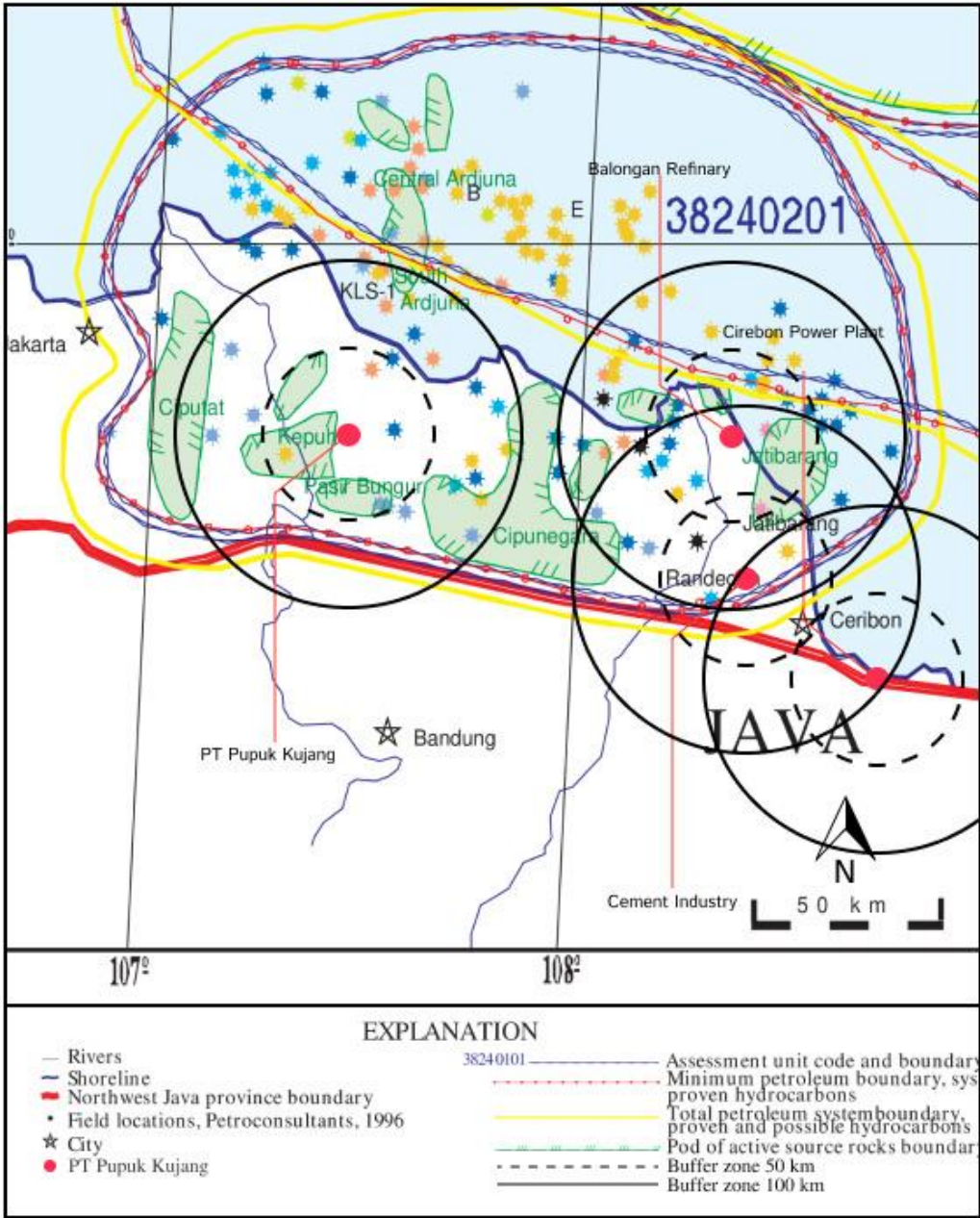
Tabel x. Angka Peningkatan Tambahan Minyak dan Gas Bumi dalam *Million Stock Tank Barel* (MSTB) Hasil Injeksi CO2 dengan Rasio Ton/STB pada Skema *Immiscible* dan *Miscible*

CO2 Source PT Pupuk Kujang	CCS/CCUS Calculation				
	OOIP	Immiscible Case		Miscible Case	
		EOR	CO2	EOR	CO2
		6%	0.6	12%	0.33
50 km Radius Buffer	3,425,862	205,552	123,331	411,103	135,664
100 km Radius Buffer	7,451,643	447,099	268,259	894,197	295,085

CO2-EOR: Klasterisasi CO2

Peta Klasterisasi CO2 Terhadap Lapangan Minyak dan Gas Bumi
Cekungan Jawa Barat Utara (Modifikasi Noble dkk., 1997)

Dibuat Oleh: Tim IGCC
Tahun 2024

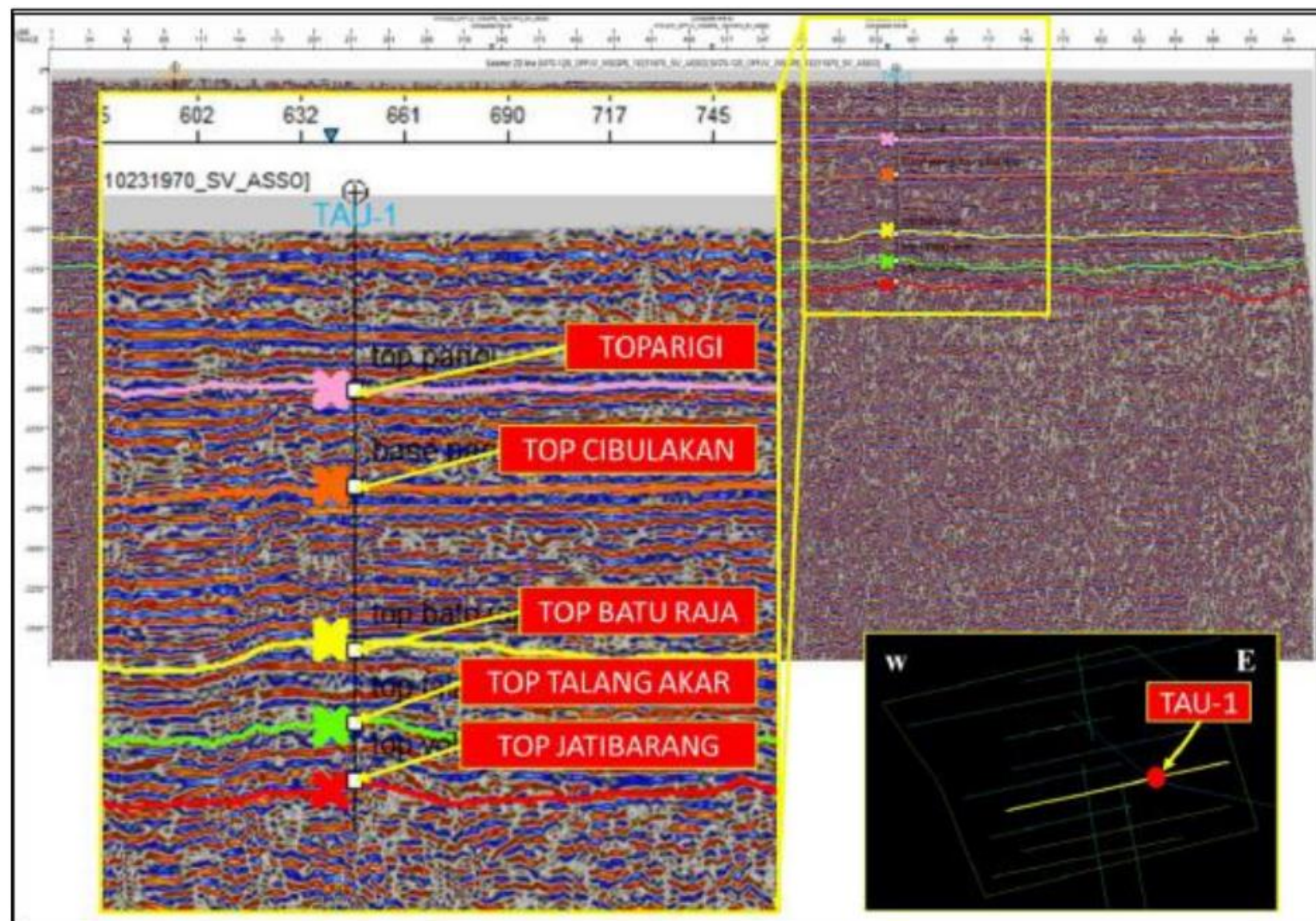


Tabel 2. Perbandingan Angka Peningkatan Tambahan Minyak dan Gas Bumi dalam *Million Stock Tank Barel* (MSTB) Hasil Injeksi CO2 dengan Rasio Ton/STB pada Skema *Immiscible* dan *Miscible* dari Beberapa Industri

CO2 Source	CCS/CCUS Calculation									
	50 km Radius Buffer					100 km Radius Buffer				
	OOIP	Immiscible Case		Miscible Case		OOIP	Immiscible Case		Miscible Case	
		EOR	CO2	EOR	CO2		EOR	CO2	EOR	CO2
		6%	0.6	12%	0.33		6%	0.6	12%	0.33
PT Pupuk Kujang	3,425,862	205,552	123,331	411,103	135,664	7,451,643	447,099	268,259	894,197	295,085
Cirebon Power Plant	982,266	58,936	35,362	117,872	38,898	2,291,658	137,499	82,500	274,999	90,750
Balongan Refinery	2,547,684	152,861	91,717	305,722	100,888	5,666,460	339,988	203,993	679,975	224,392
Cement Industry	1,477,329	88,640	53,184	177,279	58,502	4,810,412	288,625	173,175	577,249	190,492

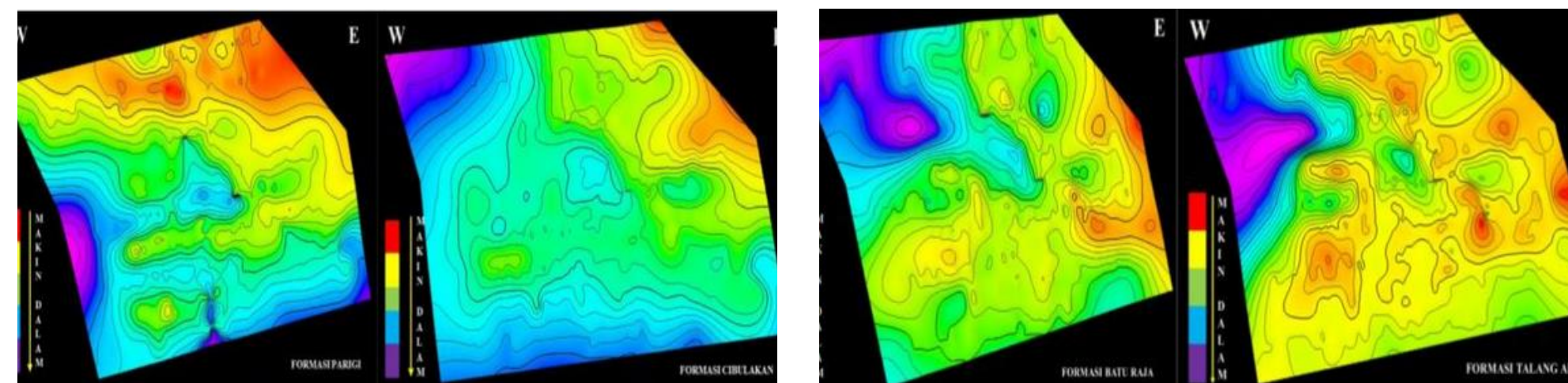
Klaster PT Pupuk Kujang berpotensi meningkatkan produksi minyak sekitar 411,103 STB dan akan membutuhkan sekitar 136,664 ton CO2 pada radius buffer 50 km. Pada radius buffer 100 km, dapat meningkatkan produksi minyak sekitar 894,197 STB, dengan membutuhkan injeksi CO2 sekitar 295,085 ton.

CO₂-EOR: Analisis Petrofisik dan Integrasi Seismik NW Java Basin.

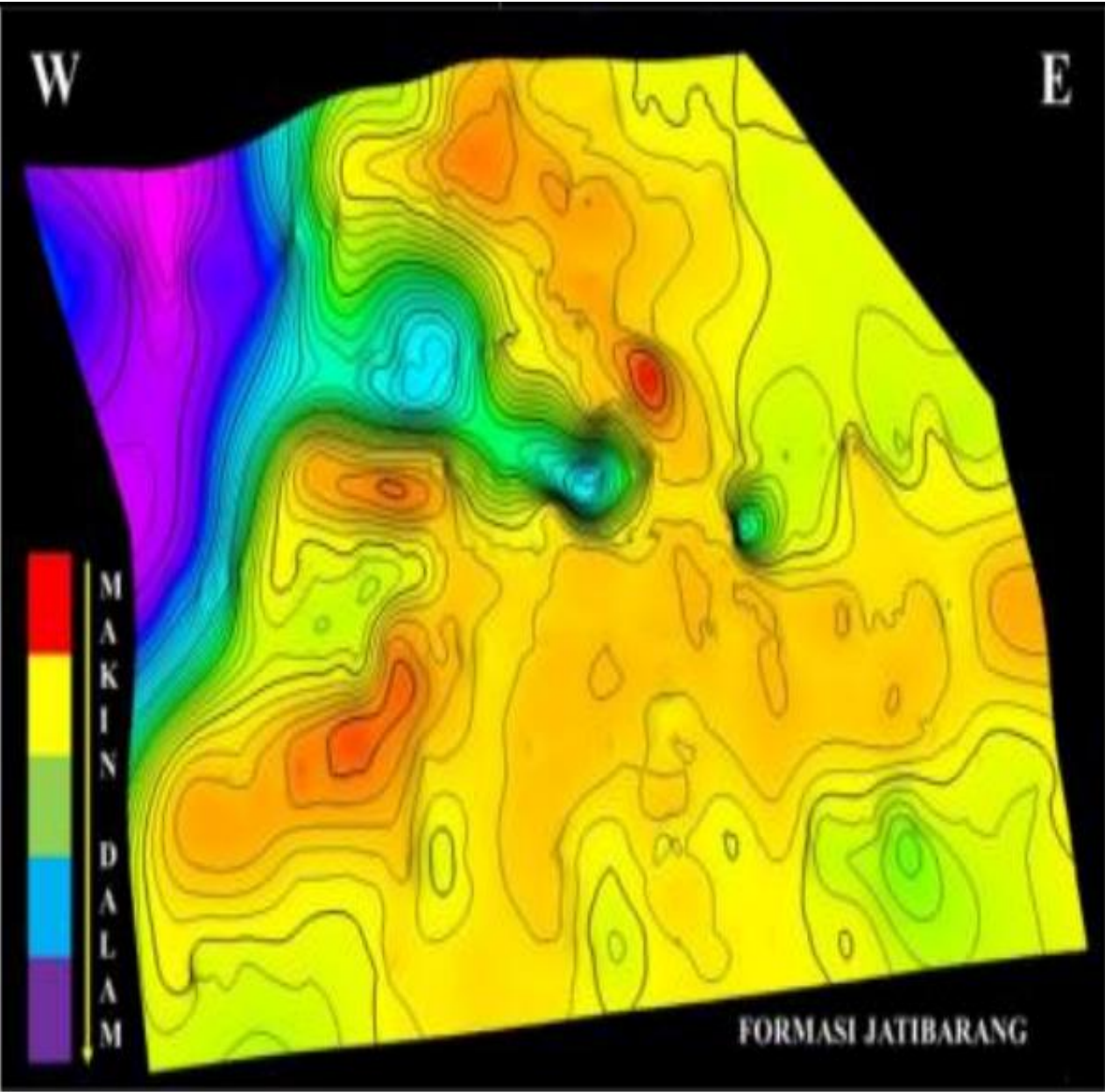


(Iskandar, 2023)

Northwest Java Basin merupakan salah satu lapangan back-arc yang menghasilkan potensi hidrokarbon, dengan luas lapangan 140.870 km². Stratigrafi regional NW Java Basin terdiri atas sekuen sedimen berumur Eosen sampai Kuartar. Endapan tertua berumur pertengahan Eosen sampai Oligosen pada Formasi Jatibarang. Cibulakan Bawah berada tidak selaras di atas Formasi Jatibarang yang terdiri dari satuan Talang Akar dan batugamping Baturaja di atasnya. Cibulakan Atas berumur Miosen terdiri dari batulempung yang diselingi dengan batupasir berbutir sangat halus hingga sedang, yang dibagi lagi menjadi tiga unit: Massive, Main dan pos-Main. Cibulakan Atas dilapisi secara seragam oleh Batugamping Parigi, sedangkan sedimen paling atas terdiri dari Formasi Cisubuh, sebagian besar terdiri dari batulempung dengan persilangan batulanau dan batupasir yang sangat tipis.



CO2-EOR: Analisis Petrofisik dan Integrasi Seismik NW Java Basin.



(Iskandar, 2023)

Properties	Criteria from SPE 100444	Jatibarang Formation	Lower Cibuakan	Middle Cibulakan	Upper Cibulakan			Parigi Formation
			TalangAkar Formation	Baturaja Formation	Main and Massive Sandstone	Main Carbonate	Pre-Parigi	
API Gravity	11 - 38	38.7 - 39.5	19 - 47,2	37.6	36-37	36-37	36-37	31
Viscosity (cp)	0.5 - 3000	0.59 - 0.98	0.5	0.2	No data available			
Porosity (%)	11 - 32	20	7 - 28	15 - 36	12 - 36	16 - 32	30	20 - 35
Thickness (m)	2 - 64	8	16	25	100	28	210	
Permeability (md)	10 - 25000	20	20	10	0.2		<0.2	50

Lapangan Jatibarang dipilih untuk menerapkan injeksi CO2 karena karakteristik minyaknya dan memiliki sumber CO2 di dekatnya. Lapangan minyak Jatibarang terletak sekitar 150 KM timur PT Pupuk Kujang. Lapangan Jatibarang terdiri dari batuan karbonat dan serpih yang diendapkan di *continental shelf platform* atau lingkungan terumbu, dan ketebalan reservoir 4-8 m. dengan Lapangan Jatibarang memiliki API 36, viskositas 0,5-0,9 cP, porositas 10,87-21,38%, kedalaman sekitar 3727-3937 kaki dan permeabilitas berkisar antara 40 hingga 60 mD. Dengan sifat reservoir tersebut, screening EOR menunjukkan bahwa EOR CO2 cocok diterapkan di Jatibarang.

PENINGKATAN KUALITAS LINGKUNGAN



PERHITUNGAN EMISI GAS CO₂ dengan Scrubbing Amina

Jumlah CO₂ yang dihilangkan: 160.000 ton per tahun
Konsentrasi CO₂ dalam gas buang: 10%

$$\text{CO}_2 \text{ yang dihilangkan per hari} = \frac{160.000 \text{ ton}}{365 \text{ hari}} \approx 438,36 \text{ ton/hari}$$

Dengan asumsi konsentrasi CO₂ dalam gas buang adalah 10%, perhitungan laju aliran gas buang

Massa molar CO₂ = 44 g/mol
1 mol gas ideal = 22.4 liter (pada STP)

Jadi, massa CO₂ per Nm³

$$\text{Massa CO}_2 \text{ per Nm}^3 = \frac{44 \text{ g/mol}}{22.4 \text{ liter/mol}} = 1.964 \text{ kg/Nm}^3$$

$$\text{Volume gas buang yang diolah per hari} = \frac{438.36 \text{ ton}}{1.964 \text{ kg/Nm}^3 \times 10\%}$$

$$\text{Volume gas buang per hari} = \frac{438.360 \times 10^6 \text{ kg}}{196.4 \text{ kg/Nm}^3} \approx 2.231.715 \text{ Nm}^3/\text{hari}$$

PERHITUNGAN EMISI GAS CO₂ dengan Scrubbing Amina

$$\text{Laju aliran gas buang} = \frac{2.231.715 \text{ Nm}^3/\text{hari}}{24 \text{ jam}} \approx 92.988 \text{ Nm}^3/\text{jam}$$

Efisiensi penghilangan CO₂ sebesar 90%, laju aliran gas buang dan efisiensi untuk mencapai target penghilangan 160.000 ton per tahun.

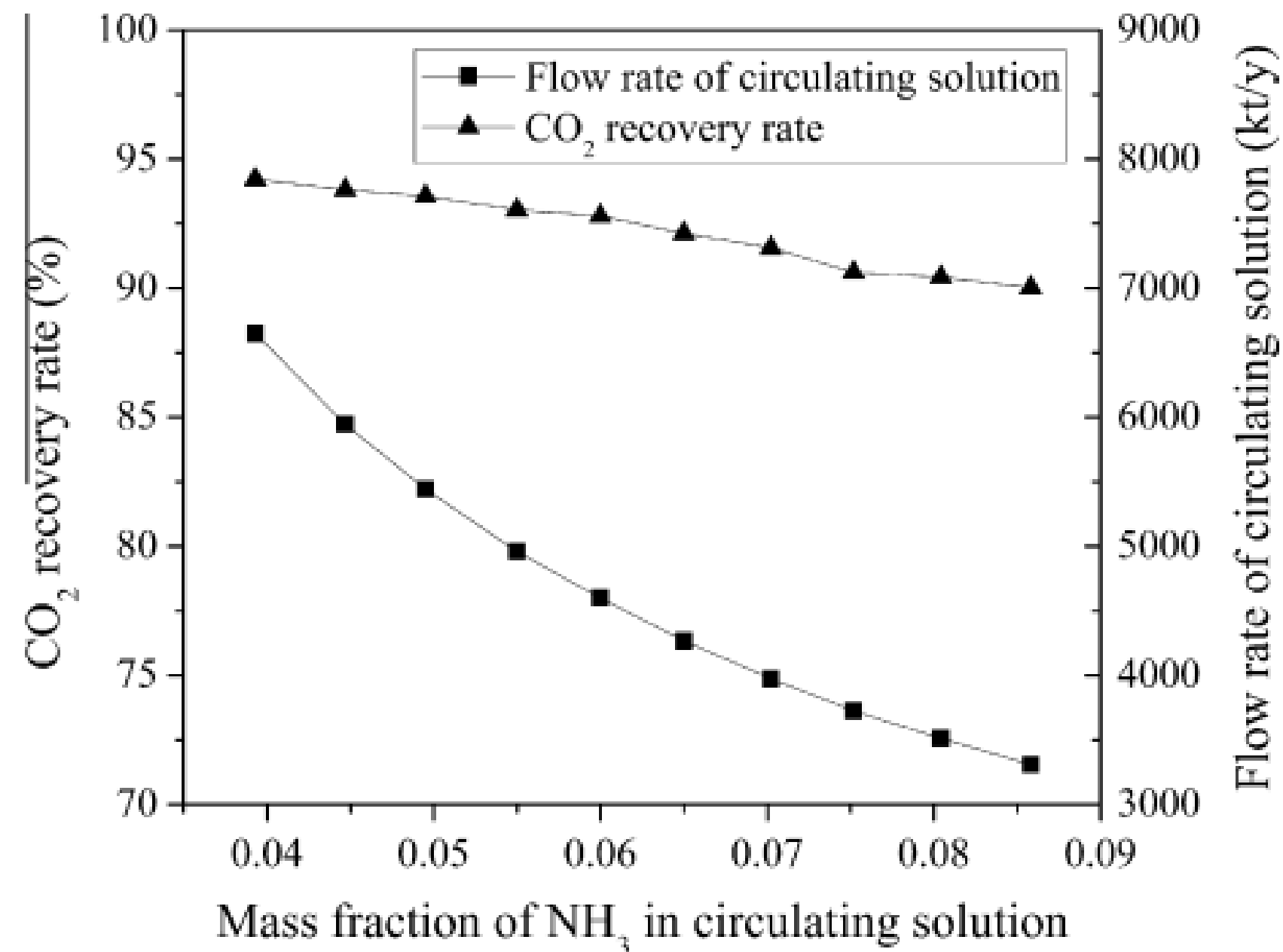
Dengan efisiensi 90%:

$$\text{CO}_2 \text{ yang dihilangkan per jam} = 92.988 \text{ Nm}^3/\text{jam} \times 1.964 \text{ kg/Nm}^3 \times 90\%$$

$$\text{CO}_2 \text{ yang dihilangkan per jam} = 164.392 \text{ kg/jam} \approx 164,392 \text{ ton/hari}$$

Dengan laju aliran gas buang sekitar 92.988 Nm³/jam dan efisiensi penghilangan CO₂ 90%, perusahaan Pupuk Kujang bisa menghilangkan sekitar 438,36 ton CO₂ per hari, yang mencapai target 160.000 ton CO₂ per tahun.

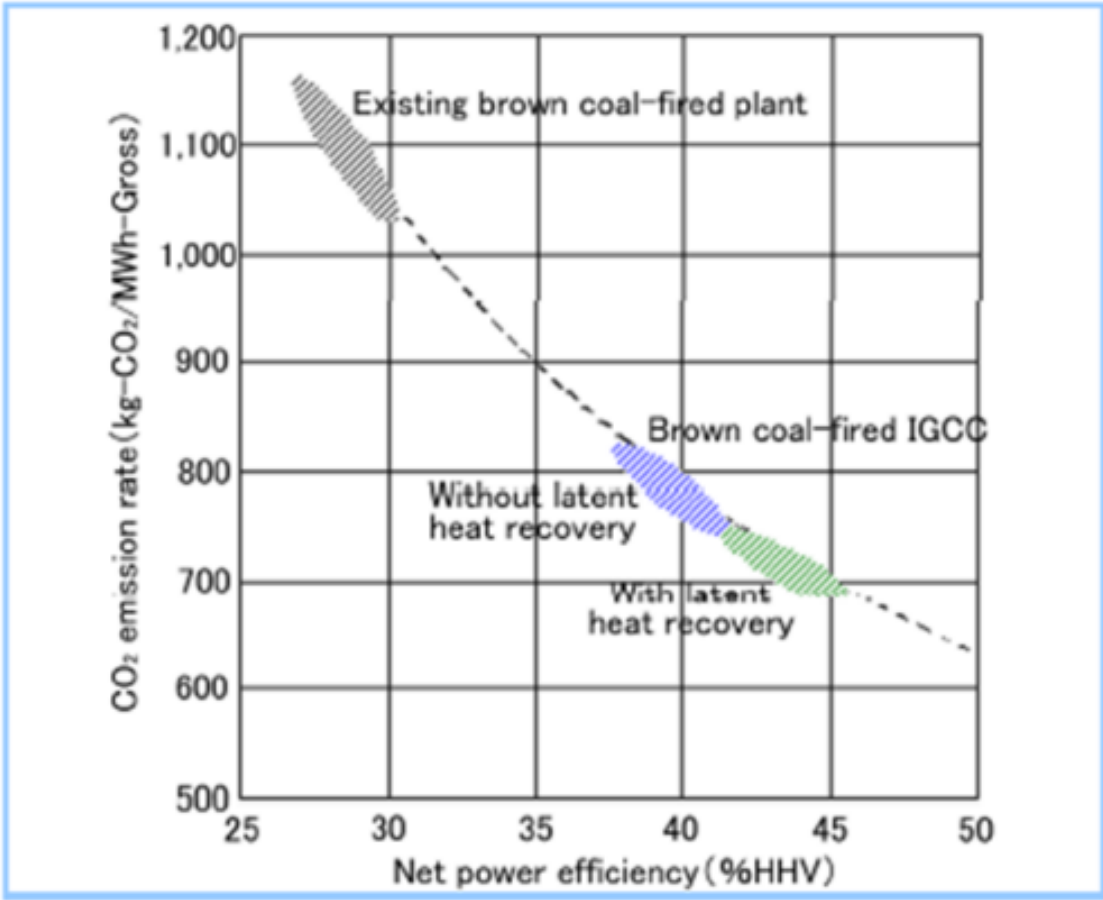
PERHITUNGAN EMISI GAS CO₂ dengan Scrubbing Amina



Pengurangan konsentrasi NH₃ menurunkan tingkat pemulihan CO₂, sehingga aliran NH₃ dikurangi untuk menjaga konsentrasi gas ventilasi di bawah 1,0 ppm. Ini menyebabkan penurunan perolehan CO₂, tetapi laju aliran larutan yang lebih tinggi meningkatkan kapasitas pembuangan CO₂ dan biaya operasi. Fraksi massa NH₃ sebesar 0,06 dipilih karena memberikan efisiensi ekonomi terbaik.

Gambar 1. Pengaruh konsentrasi NH₃ (tekanan operasi: 0,15 MPa, pelepasan NH₃ konsentrasi: 0,7–1,0 ppm).

IGCC PLANT



Gambar 2. Efisiensi dan Emisi CO2 dari IGCC Berbahan Bakar Lignit

Overall net power, MW _{el}	388.7	386.5	388.0	1018.6	385.8	388.1	385.8
Heat input, MW _{LHV}				67.11%			
LHV cold gas efficiency							
LHV gross efficiency	46.24%	46.03%	45.55%		45.34%	45.27%	45.05%
LHV net efficiency	38.17%	37.95%	38.09%		37.87%	38.10%	37.88%
Efficiency penalty, % points	-9.79	-10.01	-9.87		-10.08	-9.85	-10.08
Specific emissions, kg _{CO2} /MW h	96.18	96.73	96.39		96.93	96.35	96.91
SPECCA, MJ/kg _{CO2}	3.06	3.15	3.09		3.18	3.09	3.18
Overall net power, MW _{el}	380.6	378.4	378.4	1025.5	376.3	377.1	374.9
Heat input, MW _{LHV}				66.41%			
LHV cold gas efficiency							
LHV gross efficiency	45.03%	44.82%	44.26%		44.06%	43.84%	43.64%
LHV efficiency	37.11%	36.89%	36.90%		36.69%	36.76%	36.56%
Efficiency penalty, % points	-9.72	-9.94	-9.93		-10.13	-10.07	-10.27
Specific emissions, kg _{CO2} /MW h	96.17	96.73	96.72		97.26	97.07	97.62
SPECCA, MJ/kg _{CO2}	3.47	3.57	3.57		3.67	3.64	3.74
Overall net power, MW _{el}	455.4	452.7	454.8	1128.2	452.2	454.3	451.5
Heat input, MW _{LHV}				66.22%			
LHV cold gas efficiency							
LHV gross efficiency	47.63%	47.39%	46.98%		46.75%	46.64%	46.40%
LHV efficiency	40.37%	40.12%	40.32%		40.08%	40.27%	40.03%
Efficiency penalty, % points	-9.66	-9.91	-9.71		-9.95	-9.76	-10.00
Specific emissions, kg _{CO2} /MW h	89.75	90.30	89.87		90.40	89.96	90.51
SPECCA, MJ/kg _{CO2}	2.85	2.94	2.87		2.96	2.88	2.97

Gambar 3. Keseimbangan daya untuk pembangkit listrik IGCC dengan penangkapan CO2 (kasus A-B-C batubara Illinois dan penggunaan turbin pembakaran canggih)

Efisiensi LHV mengukur seberapa efisien plant mengubah energi panas menjadi energi listrik.

Efisiensi LHV berkisar antara 36.6% hingga 40.4%.



IGCC PLANT



Penalti efisiensi menggambarkan penurunan efisiensi yang disebabkan oleh penggunaan teknologi CCS.

Penalti Efisiensi=Efisiensi Baseline–Efisiensi Aktual
 Penalti efisiensi berkisar antara 9.6 hingga 10.3% poin.



Pendahuluan – Rancangan Inovasi Teknologi – **Peningkatan Kualitas Lingkungan** – Gambar Rancangan

Overall net power, MW _{el}	388.7	386.5	388.0		385.8	388.1	385.8
Heat input, MW _{LHV}				1018.6			
LHV cold gas efficiency				67.11%			
LHV gross efficiency	46.24%	46.03%	45.55%		45.34%	45.27%	45.05%
LHV net efficiency	38.17%	37.95%	38.09%		37.87%	38.10%	37.88%
Efficiency penalty, % points	−9.79	−10.01	−9.87		−10.08	−9.85	−10.08
Specific emissions, kg _{CO2} /MW h	96.18	96.73	96.39		96.93	96.35	96.91
SPECCA, MJ/kg _{CO2}	3.06	3.15	3.09		3.18	3.09	3.18
Overall net power, MW _{el}	380.6	378.4	378.4		376.3	377.1	374.9
Heat input, MW _{LHV}				1025.5			
LHV cold gas efficiency				66.41%			
LHV gross efficiency	45.03%	44.82%	44.26%		44.06%	43.84%	43.64%
LHV efficiency	37.11%	36.89%	36.90%		36.69%	36.76%	36.56%
Efficiency penalty, % points	−9.72	−9.94	−9.93		−10.13	−10.07	−10.27
Specific emissions, kg _{CO2} /MW h	96.17	96.73	96.72		97.26	97.07	97.62
SPECCA, MJ/kg _{CO2}	3.47	3.57	3.57		3.67	3.64	3.74
Overall net power, MW _{el}	455.4	452.7	454.8		452.2	454.3	451.5
Heat input, MW _{LHV}				1128.2			
LHV cold gas efficiency				66.22%			
LHV gross efficiency	47.63%	47.39%	46.98%		46.75%	46.64%	46.40%
LHV efficiency	40.37%	40.12%	40.32%		40.08%	40.27%	40.03%
Efficiency penalty, % points	−9.66	−9.91	−9.71		−9.95	−9.76	−10.00
Specific emissions, kg _{CO2} /MW h	89.75	90.30	89.87		90.40	89.96	90.51
SPECCA, MJ/kg _{CO2}	2.85	2.94	2.87		2.96	2.88	2.97

Gambar 3. Keseimbangan daya untuk pembangkit listrik IGCC dengan penangkapan CO2 (kasus A-B-C batubara Illinois dan penggunaan turbin pembakaran canggih)

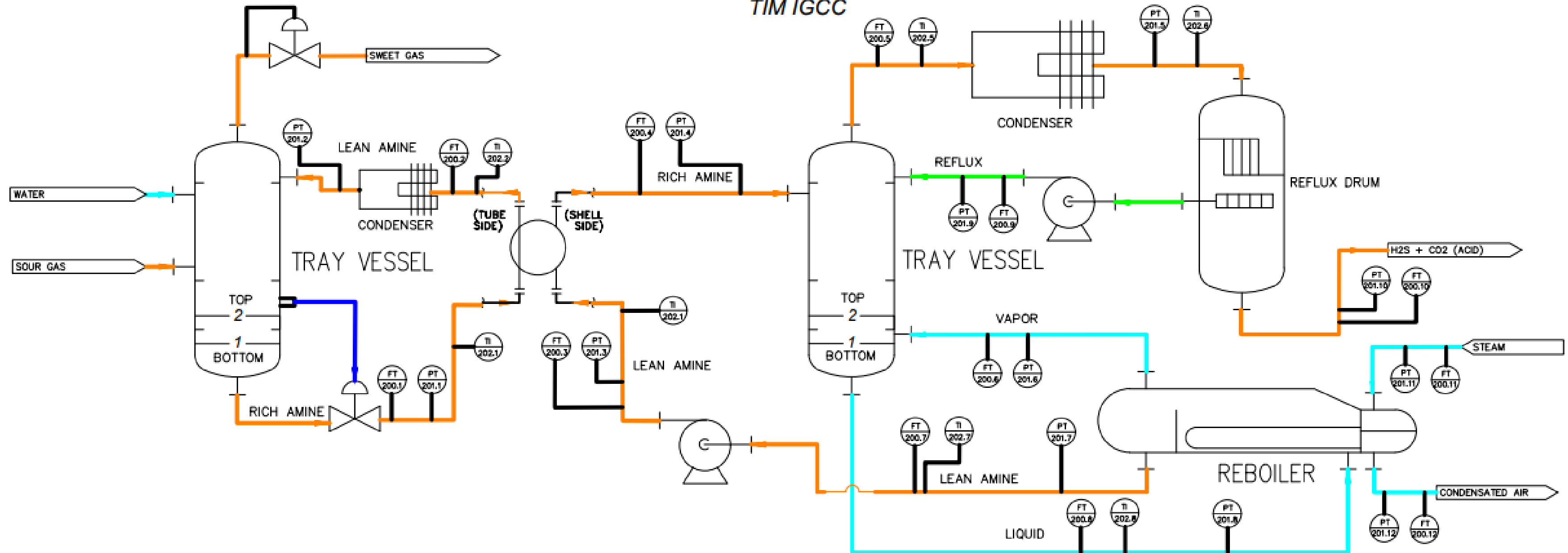
SPECCA antara 2.8 hingga 3.6 MJ/kgCO2.

GAMBAR RANCANGAN

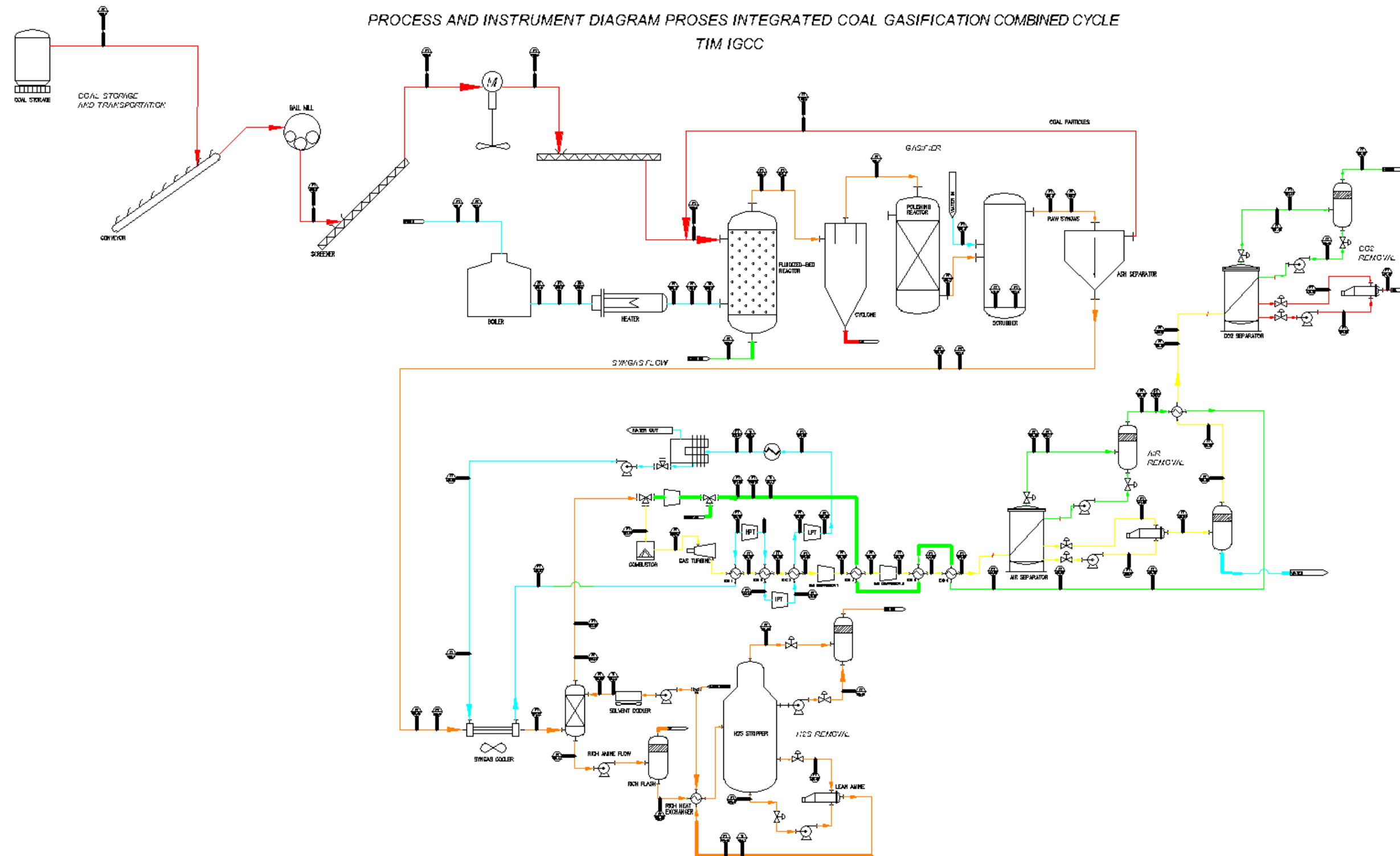


PIPING AND INSTRUMENTATION DIAGRAM PROSES SCRUBBING AMINA

PROCESS AND INSTRUMENT DIAGRAM PROSES SCRUBBING AMINA
TIM IGCC



PIPING AND INSTRUMENTATION DIAGRAM PROSES INTEGRATED GASIFICATION COMBINED CYCLE



TATA LETAK (LAYOUT) UNTUK *DASHBOARD* PEMANTAUAN DAN PERAMALAN EMISI UDARA

