

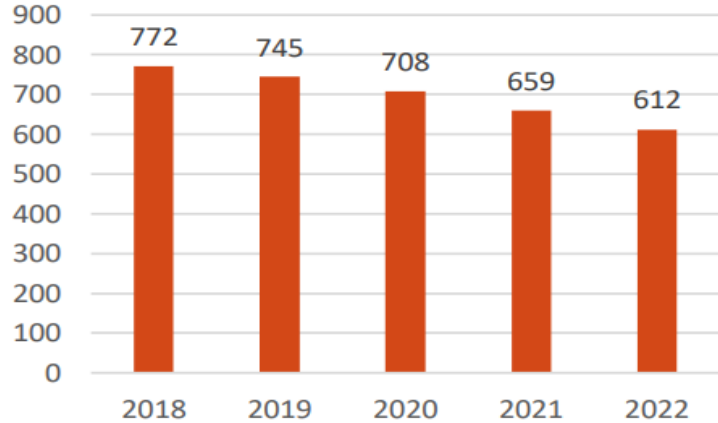


PENENTUAN TEKANAN TERCAampur MINIMUM INJEKSI CO₂ PADA RESERVOIR TEMPERATUR TINGGI

(EKSPERIMEN *SLIMTUBE* DAN KORELASI EMPIRIK)

AQLYNA FATTAHANISA; ARINDA RISTAWATI; HARIN WIDIYATNI

Produksi Minyak Bumi (mbopd)



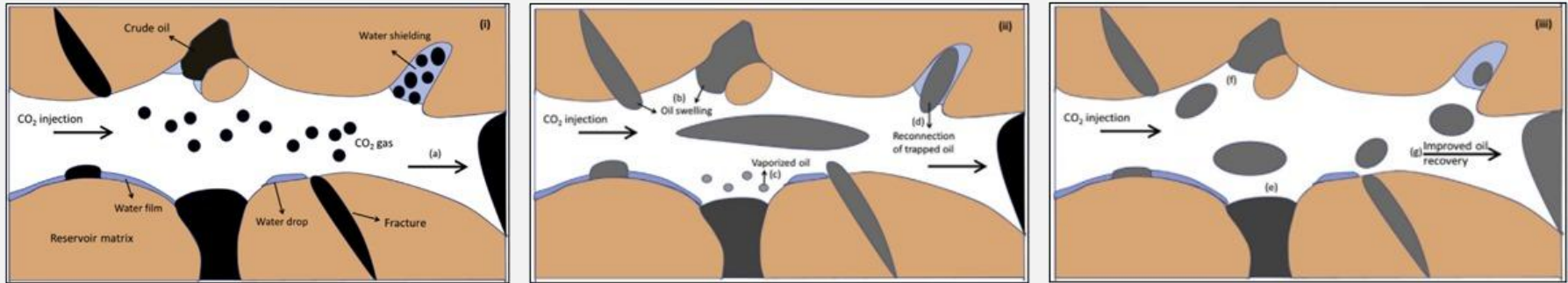
Gambar Produksi Minyak Bumi di Indonesia (LAKIN Ditjen-Migas, 2022)

Dari 5 tahun terakhir, produksi minyak bumi di Indonesia mengalami penurunan. Penurunan ini disebabkan karena penurunan *performance reservoir* secara alami.

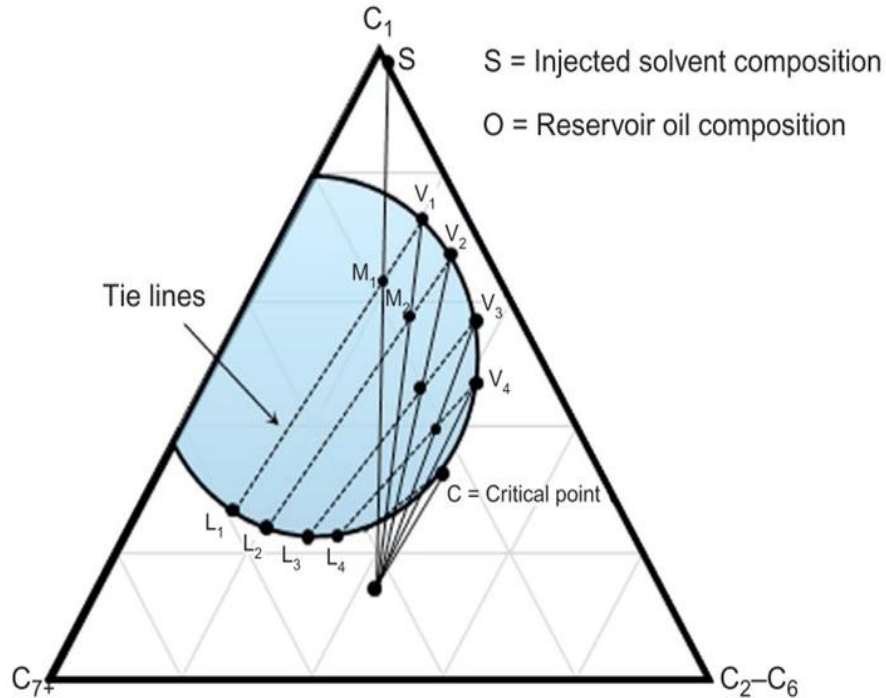
Untuk itu, diperlukan metode yang tepat untuk meningkatkan produksi minyak bumi. Metode tersebut adalah EOR. Injeksi CO₂ merupakan salah satu metode EOR yang terbukti efektif dalam meningkatkan *recovery*.

Keberhasilan dalam injeksi CO₂ ini tergantung pada tercapainya miscibility antara CO₂ dengan minyak. Salah satu parameter penting dalam injeksi CO₂ adalah MMP. MMP adalah tekanan terendah di mana gas yang diinjeksikan dan minyak di tempatnya dapat bercampur secara multi-kontak. (Matthew Amao, 2012).

- CO₂ merupakan salah satu metode EOR yang efektif untuk meningkatkan produksi minyak
- Mekanisme yang terjadi ketika CO₂ berinteraksi dengan crude oil:
 - Oil swelling
 - Penurunan viskositas
 - Penurunan densitas
 - Adanya mekanisme vaporizing/ekstraksi



Pada gambar 1. (a) minyak yang dihasilkan melalui perpindahan CO₂ secara langsung. (b) CO₂ yang terlarut dalam minyak mentah menyebabkan pembengkakan minyak. Karbon dioksida mempunyai kelarutan yang tinggi dalam minyak, menyebabkan minyak membengkak dan akibatnya mengurangi viskositas dan kepadatan minyak. (c) minyak yang menguap akibat ekstraksi CO₂ dari komponen minyak ringan dan menengah. (d) penggabungan ganglia minyak yang terputus akibat pembengkakan minyak. (e) Komponen minyak mentah yang tersisa setelah penguapan; (f) sisa minyak pada pori-pori buntu setelah menggantikan sebagian minyak yang membengkak dengan CO₂. (g) peningkatan perolehan minyak karena berbagai mekanisme CO₂.



Gambar Konsep Ketercampuran (Moghadas et al, 2018)

Miscibility atau ketercampuran dapat diartikan sebagai sebuah kondisi yang dimana ada dua atau lebih fluida yang bercampur dan membentuk satu fasa yang sama (homogen)

Untuk menentukan miscibility, dapat dilihat pada diagram ternary. Pada diagram ini, minyak reservoir terdiri dari 3 komponen.

Namun, di dalam reservoir tidak dapat terjadi miscibility dengan FCM, kenapa? Karena hidrokarbon memiliki komponen yang kompleks

1. FCM= sebuah proses CO₂ dan minyak dicampur dalam semua proporsi pada kontak pertama yang menghasilkan satu kesatuan yang homogen.
2. MCM= sebuah proses CO₂ dan minyak berkontak secara berulang ulang hingga terjadi ketercampuran. Jadi, ketika CO₂ diinjeksikan ke dalam reservoir dan bersentuhan dengan minyak, beberapa komponen minyak akan menguap dan berpindah ke fasa gas. Akibatnya komposisi gas dan minyak berubah. Pada diagram, diwakili oleh titik (M1). Campuran tadi diwakili oleh titik (V1) itu fasa gas dan titik (L1) itu fasa cair. Fasa uap V1 bergerak mendahului cairan L1 dan berkontak dengan minyak (O). Campuran yang dihasilkan akan berada di sepanjang garis V1-O. biasanya ditunjukkan sebagai titik M2. Campuran M2 terpisah menjadi fasa gas V2 dan fasa cair L2. Proses ini berlanjut hingga uap dapat bercampur dengan minyak.

METODE PENENTUAN MMP

1. Metode korelasi
2. Metode uji laboratorium.

METODE KORELASI

- Korelasi Yellig & Metcalfe

$$\text{MMP} = 12.6472 + 0.015531 \times (1.8\text{Tr} + 32) + 1.24192 \times 10^{-4} \times (1.8\text{Tr} + 32)^2 - \left(\frac{716.9427}{1.8\text{Tr} + 32} \right)$$

- Korelasi Crounquist

$$\text{MMP} = 0.11027 + (1.8\text{Tr} + 32)^y$$

Dimana

$$y = 0.744206 + 0.0011038 \times \text{Mw } C_{5+} + 0.0015279 \times y_{\text{vol}}$$

(Mansour. Sabagh. Desouky. Zawawy. Ramzi., 2017)

METODE KORELASI

- Korelasi Alston

$$\text{MMP} = 1.25 \times 10^{-7} \times (1.8\text{Tr} + 460)^{1.06} \times (\text{Mw}_{\text{C5+}})^{1.78} \times \left(\frac{y_{\text{vol}}}{y_{\text{int}}} \right)^{0.316}$$

- Korelasi J.Lee

$$\text{MMP} = 7.3924 \times 10^b$$

Dimana

$$b = 2.772 - \left(\frac{1519}{(492 + 1.8 \text{ Tr})} \right)$$

(Mansour. Sabagh. Desouky. Zawawy. Ramzi., 2017)

METODE KORELASI

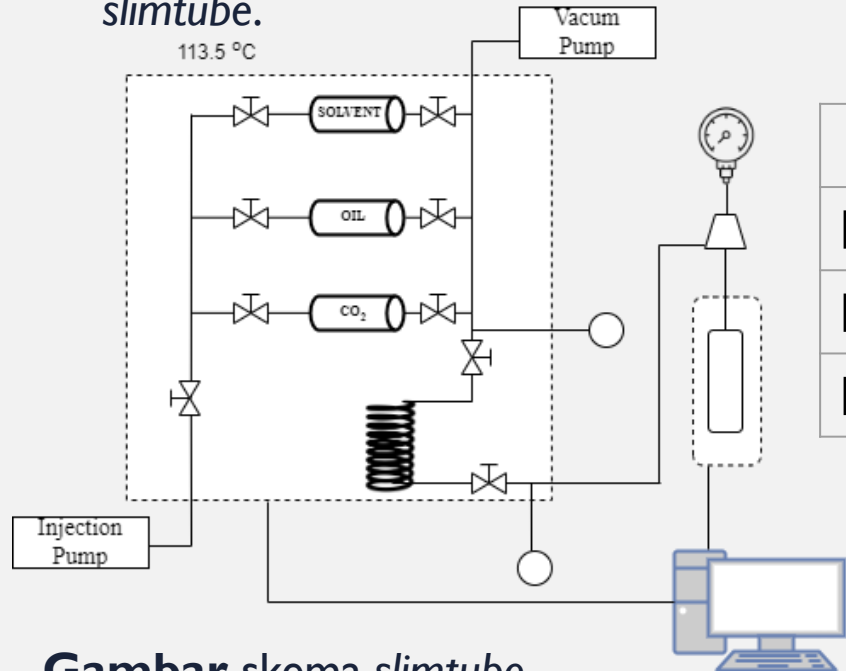
- Korelasi Liao

$$\text{MMP} = 0.003 \times T^{0.544} \times (\text{Mw}_{\text{C5+}})^{1.006} \times \left(\frac{y_{\text{vol}}}{y_{\text{int}}} \right)^{0.143}$$

(Mansour. Sabagh. Desouky. Zawawy. Ramzi., 2017)

METODE LABORATORIUM

- Metode kedua yaitu uji laboratorium. Dalam penelitian ini menggunakan alat *slimtube*.



Gambar skema *slimtube*

Tabel spesifikasi *slimtube*

Parameter	Nilai
Panjang (m)	18
Diameter dalam (inch)	3.5
Porositas (%)	25

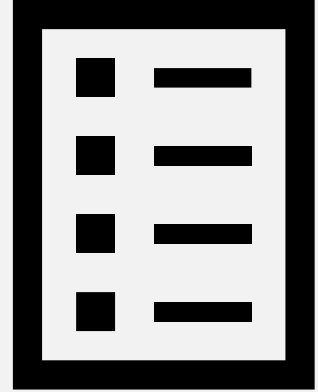
PROSEDUR KERJA SLIMETUBE

Slimtube merupakan sebuah alat yang berbentuk tabung silinder yang berbahan stainless dengan membentuk spiral yang berisikan *silica* atau pasir

Prosedur terdiri dari 3 tahap: Persiapan, saturasi, dan pembersihan

1. Tahap awal yaitu persiapan dimana memastikan *slimtube* sudah benar – benar bersih dan sistem terpasang dengan benar.
2. Kemudian *slimtube* di saturasi menggunakan *dead oil* untuk mengetahui *pore volume* dari *slimtube* tersebut. Tahap selanjutnya diinjeksikan *live oil* sampai 1.2 *pore volume* menggunakan pompa. Tahap selanjutnya menginjeksikan gas CO₂ ke dalam *slimtube*. Kemudian diamati segala kejadian seperti perubahan tekanan, volume output yang keluar dari *slimtube* dan lain – lain.
3. Tahap selanjutnya yaitu pembersihan. Pembersihan untuk *slimtube* ini menggunakan toluene. Slimtube dibersihkan menggunakan Toluene, hal ini dilakukan untuk mencegah adanya sisa gas CO₂ pada *slimtube*. (Amao et al, 2012).

CONTOH SOAL



Tabel Penentuan nilai MMP
dengan korelasi empirik

Metode Korelasi	MMP, psi
Yellig & Metcalfe	2932.34
Crounquist	2438.28
Alston	503.12
J.Lee	4175.77
Liao	1629.06

- **Yellig & Metcalfe**

$$\text{MMP} = 12.6472 + 0.015531 \times (1.8(113.5) + 32) + 1.24192 \times 10^{-4} \times (1.8(113.5) + 32)^2 - \left(\frac{716.9427}{1.8(113.5) + 32} \right)$$

$$\text{MMP} = 20.22 \text{ Mpa}$$

$$\text{MMP} = 2932.34 \text{ psi}$$

- **Crounquist**

$$y = 0.744206 + 0.0011038 (158.22) + 0.0015279 (0.63)$$

$$y = 0.92$$

Maka MMP:

$$\text{MMP} = 0.11027 + (1.8(236.3) + 32)^{y^{0.92}}$$

$$\text{MMP} = 16.81 \text{ Mpa}$$

$$\text{MMP} = 2438.28 \text{ psi}$$

Tabel Penentuan nilai MMP
dengan korelasi empirik

Metode Korelasi	MMP, psi
Yellig & Metcalfe	2932.34
Crounquist	2438.28
Alston	503.12
J.Lee	4175.77
Liao	1629.06

- Alston

$$\text{MMP} = 1.25 \times 10^{-7} \times (1.8(113.5) + 460)^{1.06} \times (158.22)^{1.78} \times \left(\frac{0.63}{0.0126} \right)^{0.316}$$

$$\text{MMP} = 3.47 \text{ Mpa}$$

$$\text{MMP} = 503.12 \text{ psi}$$

- J.Lee

$$b = 2.772 - \left(\frac{1519}{(492 + 1.8(113.5))} \right)$$

$$b = 0.59$$

Maka MMP:

$$\text{MMP} = 7.3924 \times 10^{0.59}$$

$$\text{MMP} = 28.79 \text{ Mpa}$$

$$\text{MMP} = 4175.77 \text{ psi}$$

Tabel Penentuan nilai MMP
dengan korelasi empirik

Metode Korelasi	MMP, psi
Yellig & Metcalfe	2932.34
Crounquist	2438.28
Alston	503.12
J.Lee	4175.77
Liao	1629.06

- Liao

$$\text{MMP} = 0.003 \times T^{0.544} \times (158.22)^{1.006} \times \left(\frac{0.63}{0.0126} \right)^{0.143}$$

$$\text{MMP} = 11.23 \text{ Mpa}$$

$$\text{MMP} = 1629.06 \text{ psi}$$

Tabel Uji Laboratorium

Tekanan Uji, psi	RF, %
3000	79.96
3500	86.67
3800	89.97
4000	91.52
4200	92.25

3000 psi= output 119.94 cc

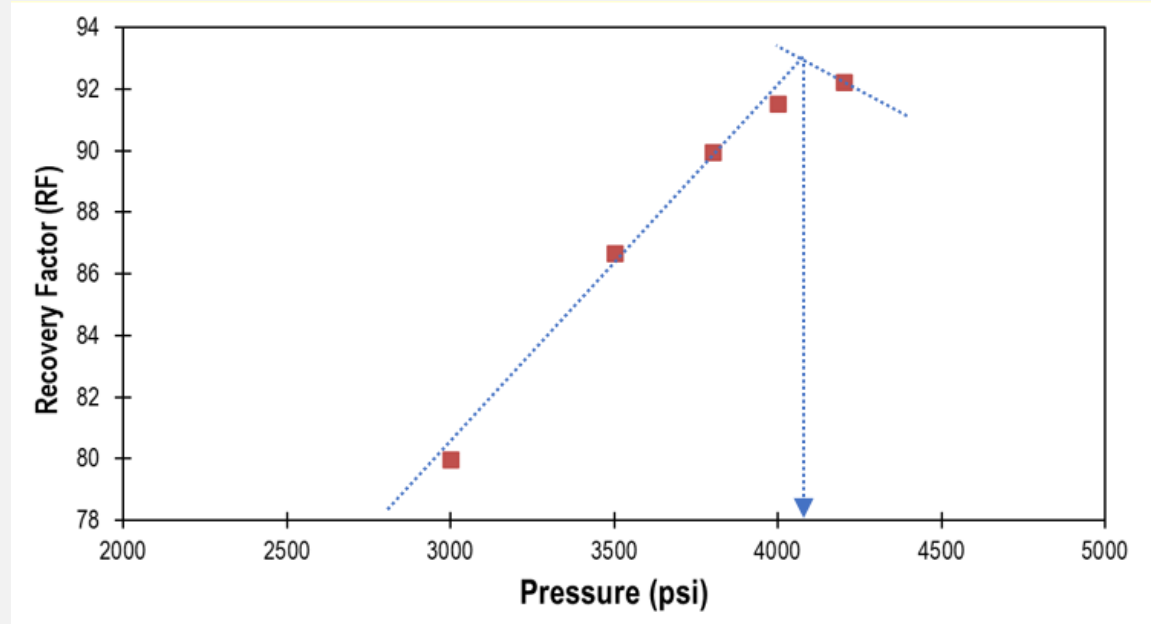
3500 psi= output 130 cc

3800 psi= output 134.95 cc

4000 psi= output 137.3 cc

4200 psi= output 138.38 cc

Penentuan nilai MMP dari uji laboratorium didapatkan dari kurva tekanan vs RF. Kemudian dari grafik dilakukan dipilih kelengkungan maksimum yang ditentukan melalui perpotongan dua garis lurus. Dari kurva RF vs tekanan ini, kelengkungan maksimum dari perpotongan dua buah garis didapatkan nilai MMP sebesar 4040 psi.



Gambar Hasil MMP *Slimtube* pada Temperatur 113.5 degC

PERBANDINGAN EMPIRIK DAN LAB

Hasil MMP korelasi empirik pada Temperatur 113.5 degC

Metode Korelasi	MMP, psi
Yellig & Metcalfe	2932.34
Crounquist	2438.28
Alston	503.12
J.Lee	4175.77
Liao	1629.06

Tabel Uji Laboratorium

Tekanan Uji, psi	RF, %
3000	79.96
3500	86.67
3800	89.97
4000	91.52
4200	92.25

MMP

4040 psi

DAFTAR PUSTAKA

Amao, A. M., Siddiqui, S., Menouar, H., and Herd, B. L. (2012): *SPE 153383 A New Look at the Minimum Miscibility Pressure (MMP) Determination from Slimtube Measurements*, 14–18.

Dindoruk, B. (2020): *SPE-200462-MS Measurement of Minimum Miscibility Pressure: A State of the Art Review*.

DSM Saputra, D., Edward Tobing Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi, dan M., Ciledug Raya Kav, J., Lama, K., and Selatan, J. (n.d.): *STUDI KELAYAKAN UNTUK IMPLEMENTASI INJEKSI CO₂ SKALA PILOT DI LAPANGAN MINYAK A, SUMATERA SELATAN (Feasibility Study for Pilot Scale CO₂ Injection Implementation in Oil Field A, South Sumatera)*, retrieved from internet: <http://www.journal.lemigas.esdm.go.id>.

Holm, L.W., and Josendal, V.A. (1982): *Effect of Oil Composition on Miscible-Type Displacement by Carbon Dioxide*.

Lashgari, H. R., Sun, A., Zhang, T., Pope, G. A., and Lake, L. W. (2019): Evaluation of carbon dioxide storage and miscible gas EOR in shale oil reservoirs, *Fuel*, **241**, 1223–1235. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.11.076>

Muhammad, O. :, and Ansyori, R. (n.d.): *Mengenal Enhanced Oil Recovery (EOR) Sebagai Solusi Meningkatkan Produksi Minyak*, retrieved from internet: www.nap.edu.

Muslim Astra Agus Pramana Permadi Radzuan Bin Junin, E.A. (n.d.): *FUNDAMENTAL OF MINIMUM MISCIBILITY PRESSURE DETERMINATION METHODS*.

Potensi Pengembangan EOR untuk Peningkatan Produksi Minyak Indonesia Usman (n.d.): .

Putra, B. P., and Kiono, B. F. T. (2021): Mengenal Enhanced Oil Recovery (EOR) Sebagai Solusi Meningkatkan Produksi Minyak Indonesia, *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, **2**(2), 84–100. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11152>

Yellig, W. F., and Metcalfe, R. S. (1980): *Determination and Prediction of CO₂ Minimum Miscibility Pressures*.

K. F. Hartono, A. K. Permadi, U. W. R. Siagian, A. L. L. Hakim, and S. Paryoto, “The impacts of CO₂ flooding on crude oil stability and recovery performance,” *J. Pet. Explor. Prod. Technol.*, vol. 14, no. 1, pp. 107–123, 2024, doi: 10.1007/s13202-023-01699-y

DAFTAR PUSTAKA

- D. Kristanto and W. dan Windyanesha Paradhita, "Diterima setelah perbaikan tanggal 3," *Desember*, vol. 53, no. 3, pp. 4–5, 2019.
- I. Ahli and T. Perminyakan, "Jurnal Teknologi Minyak dan Gas Bumi," vol. 11, no. 2, 2016.
- E. Science, "The characteristics of produced oils in the miscible CO₂ displacement process The characteristics of produced oils in the miscible CO₂ displacement process", doi: 10.1088/1755-1315/1339/1/012021.
- K. F. Hartono, "Phase behavior and mutual interactions of co₂ - crude oil system in enhanced oil recovery dissertation," Institut Teknologi Bandung, 2024.
- Lesmana, Fajar. 2019. Penentuan Tekanan Tercampur Minimum (TTM) Dengan Injeksi Gas CO₂ Menggunakan Korelasi dan Uji Korelasi Laboratorium *Slimtube* Pada Lapangan F. (Skripsi Sarjana, Universitas Trisakti).
- Firli, Robbi. 2020. Investigasi *Minimum Miscibility Pressure* (MMP) Untuk Gas Injeksi CO₂ Pada *Heavy Oil* Lapangan KLM. (Skripsi Sarjana, Universitas Islam Riau)
- Yasmita, Nadea. 2018. *Screening EOR* Menggunakan Metode Manual dan *Software Eorgui* (Studi Kasus LapanganA). (Skripsi Sarjana, Universitas Islam Riau).
- Jakarta. Kementerian ESDM Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi. 2022. *Implementasi Injeksi CO₂ di Lapangan Jatibarang Dukung Peningkatan Produksi Migas dan Tekan Emisi GRK*. <https://migas.esdm.go.id/post/read/implementasi-injeksi-co2-di-lapangan-jatibarang-dukung-peningkatan-produksi-migas-dan-tekan-emisi-grk>
- Purwanti, Teti. 2023. Pertamina Lakukan Injeksi Perdana CO₂ di Lapangan Sukowati. CNBC Indonesia. Diakses pada 15 Juni 2024 dari <https://www.cnbcindonesia.com/news/20231207190720-4-495493/pertamina-lakukan-injeksi-perdana-co2-di-lapangan-sukowati>
- E. M. Mansour, A. M. Al-sabagh, S. M. Desouky, F. M. Zawawy, and M. Ramzi, "A new estimating method of minimum miscibility pressure as a key parameter in designing CO₂ gas injection process," 2017