

PENENTUAN TEKANAN TERCAMPUR MINIMUM CO₂ DENGAN MENGUNAKAN SLIM TUBE

Oleh :

Ir. Rusli Hidayat Susilo

Dr. Rachmat Sudibyo

SARI

Pendesakan CO₂ tercampur pada suatu reservoir minyak (*miscible displacement*) dapat dilakukan pada tekanan yang sama atau lebih besar dari "TEKANAN TERCAMPUR MINIMUM CO₂/TTM-CO₂" (CO₂ MINIMUM MISCIBILITY PRESSURE/CO₂-MP). Harga ini dapat diperkirakan dari korelasi-korelasi Holm, Yellig, dan National Petroleum Council. Akan tetapi penentuan harga Tekanan Tercampur Minimum CO₂ dari suatu minyak lebih nyata bila diperoleh dari percobaan laboratorium dengan menggunakan "SLIM TUBE".

Percobaan dengan menggunakan contoh "Crude Nglobo", yang mempunyai 43.7° API Gravity, 1.6961 Cp dan berat molekul C₇₊ = 183, serta temperatur 176° F, maka dapat diperoleh harga TTM-CO₂ = 2345 psig. Dengan menggunakan korelasi Holm, Yellig, dan National Petroleum Council masing-masing diperoleh harga TTM-CO₂: 2200 psig, 2500 psig dan 1550 psig.

ABSTRACT

The CO₂ miscible displacement in a reservoir could be done in the same pressure or greater pressure from CO₂/TTM CO₂ miscibility pressure (CO₂ minimum miscibility pressure/CO₂-MMP). The value could be estimated from Holm, Yellig and National Petroleum Council correlations. However, the determination of CO₂ miscible displacement of an oil could be clearer through laboratory experiments by utilizing the "SLIM TUBE".

Experiments by using the Nglobo crude, possessing 43.7° API GRAVITY, 1.6961 Cp and C₇ + 183 mol. weight, and temperature 176° F the CO₂-TTM could be obtained, which are respectively as follows: the CO₂ TTM value 2,200 psig, 2,500 psig, and 1,155 psig.

I. PENDAHULUAN

Dalam melakukan upaya peningkatan perolehan minyak dengan menggunakan CO₂ sebagai fluida injeksi, maka terjadi proses sebagai berikut : minyak akan mengalami pengembangan volume (*swelling*), penurunan viskositas, kenaikan massa jenis, dan ekstraksi sebagian komponen hidrokarbon;

sedang air formasi mengalami penurunan massa jenis, kenaikan viskositas, dan penurunan pH. Perubahan sifat kimia fisik ini memungkinkan terjadinya penurunan tegangan antar permukaan (*interfacial tension*). Tegangan antar permukaan yang besar merupakan penghambat sisa minyak untuk mengalir melalui celah pori-pori. Dengan demikian penurunan

an tegangan antar permukaan ini akan memudakan sisa minyak untuk mengalir melalui celah pori-pori. Apabila tegangan permukaan dapat dihilangkan/diturunkan mendekati harga nol maka pendorongan minyak akan bersifat tercampur (*miscible*).

Pendesakan CO_2 kondisi tercampur (*miscible displacement*) dapat dilakukan pada tekanan yang sama atau lebih besar dari "TEKANAN TERCAMPUR MINIMUM CO_2 " (CO_2 - MINIMUM MISCIBILITY PRESSURE).

Harga ini dapat diperkirakan dari korelasi-korelasi Holm, Yellig, atau National Petroleum Council. Akan tetapi penentuan harga Tekanan Tercampur Minimum CO_2 (TTM- CO_2) dari suatu minyak akan lebih teliti bila ditentukan berdasarkan percobaan laboratorium dengan menggunakan "SLIM TUBE".

Pada suatu reservoir minyak yang memenuhi kriteria untuk pelaksanaan injeksi CO_2 perlu dilakukan test pendesakan CO_2 di laboratorium dengan menggunakan slim-tube dan pendesakan core. Dari hasil test slim-tube dapat dipastikan harga TTM- CO_2 minyak yang bersangkutan pada keadaan reservoir serta efek dari tingkat kemurnian CO_2 yang dipakai. Pendesakan core memberikan informasi tentang saturasi minyak sisa serta efek permeabilitas pada keadaan reservoirnya. Sedangkan simulasi reservoir menghasilkan peramalan kelakuan injeksi CO_2 pada skala reservoir, yang hasilnya dapat digunakan sebagai petunjuk operasional serta untuk pertimbangan keekonomian.

II. KONDISI TERCAMPUR (MISCIBILITY)

Apabila ada dua atau lebih fluida yang bercampur dan membentuk satu fasa homogen, maka keadaan campuran tersebut dinamakan sebagai tercampur (*miscible*), yaitu kondisi melarutnya suatu fluida di dalam fluida lainnya.

Brigham dan Clark menggunakan diagram fasa untuk mengevaluasi hasil proses tercampurnya antara hidrokarbon dan CO_2 . Hasil

percobaan tersebut menunjukkan bahwa di dalam sistem CO_2 - minyak, kondisi tercampur akan terjadi di atas tekanan dan temperatur kritik CO_2 dan atau di atas "critical locus CO_2 -minyak", seperti terlihat pada Gambar-1.

Kondisi tercampur antara CO_2 dan minyak tergantung pada tekanan dan temperturnya, serta komponen penyusunan minyak dan CO_2 . Makin tinggi tekanan semakin mudah terjadi percampuran, sedang pada temperatur tinggi diperlukan tekanan yang tinggi pula agar terjadi percampuran.

Dari segi komposisi minyak, kondisi tercampur tidak banyak dipengaruhi oleh adanya komponen ringan seperti C_1 , C_2 , C_3 , dan C_4 . Akan tetapi hanya komponen C_5+ yang banyak mempengaruhi tingkat percampuran antara CO_2 dan minyak. Demikian juga tingkat kemurnian CO_2 mempengaruhi percampurannya dengan minyak. Adanya kotoran C_1 atau N_2 dalam CO_2 mengurangi kemungkinan untuk tercampur.

III. KORELASI TTM- CO_2

Yellig dan Metcalfe menggunakan metoda slim tube untuk menentukan dan memperkirakan harga TTM- CO_2 . Dari hasil studi, mereka menyimpulkan bahwa hubungan antara temperatur dan TTM- CO_2 adalah linier. Apabila dengan metoda slim tube menghasilkan harga TTM- CO_2 lebih kecil dari tekanan saturasi (*bubble point pressure*), maka Yellig dan Metcalfe mengusulkan harga TTM- CO_2 sama dengan tekanan saturasi tersebut. Korelasi yang dibuat oleh Yellig dan Metcalfe dapat dijumpai pada Gambar-2

Holm dan Josendal membuat korelasi untuk memperkirakan harga TTM- CO_2 yang didasarkan kepada temperatur dan berat molekul C_5+ . Korelasi tersebut dapat dilihat pada Gambar-3. National Petroleum Council mengeluarkan korelasi untuk memperkirakan TTM- CO_2 yang didasarkan kepada $^{\circ}\text{API}$ Gravity minyak, seperti dapat dilihat pada Tabel-1.

IV. PENENTUAN TTM-CO₂ DENGAN SLIM - TUBE

Skema peralatan slim tube di laboratorium Enhanced Oil Recovery PPPTMGB "LEMIGAS" yang digunakan dalam percobaan ini dapat ditunjukkan pada gambar-4.

Alat utama slim tube ini ialah coil (c) berupa pipa stainless berbentuk spiral dengan panjang 9.60 m, 3.5 ID, dan diisi pasir kwarsa unconsolidated. Pada keadaan ruang mempunyai volume pori (VP) 33.8 cc, porositas 36.4% dengan permeabilitas absolut 30 darcy.

Adapun alat-alat penunjangnya ialah : pompa, ruang pengatur temperatur (oven), back pressure regulator, pompa vakum separator, density meter, brooks meter, gelas ukur, tabung-tabung (sel), valve, dan pengukur tekanan (pressure gauge).

Prinsip kerja slim tube ini dimulai dari menjenuhi coil dengan minyak *sampel* yang akan diukur harga TTM-CO₂ nya pada temperatur percobaan. Caranya ialah mengosongkan coil dari udara dengan pompa vakum, kemudian minyak *sampel* dipompakan melalui C₄ (OIL) sampai jenuh dan tidak ada udara lagi di dalam coil.

Setelah itu dilakukan pendesakan CO₂ dengan temperatur dan tekanan percobaan yang dijaga konstan. Kecepatan pendesakan diusahakan sekecil mungkin dan konstan agar terjadi kontak sempurna antara CO₂ dan minyak (kecepatan pendesakan berkisar antara 10 cc s/d 15 cc per jam).

Kecepatan pendesakan yang kecil dan konstan tersebut dapat diperoleh dengan mengatur agar selisih antara tekanan masuk dan tekanan ke luar coil cukup kecil. Caranya dengan mengatur agar back pressure mempunyai selisih tekanan yang kecil dengan tekanan pompa (selisih antara PG2 dan PG4 kira-kira 25 psig).

Fluida yang diproduksi ke luar melalui valve 15, dipisahkan oleh separator, dan minyak ditampung oleh gelas ukur, serta gas masuk ke dalam brooks meter.

Pada tahap penjenjahan minyak ke

dalam coil, dicatat jumlah langkah pompa yang diperlukan untuk penjenjahan serta minyak yang ke luar sebelum valve 15 ditutup (valve 15 dibuka terlebih dahulu agar sisa udara yang berada di dalam coil dapat ke luar dari system), sehingga coil benar-benar jenuh dengan minyak *sampel*. Langkah pompa ini digunakan untuk menghitung volume minyak *sampel* mula-mula di dalam coil.

Pada tahap pendesakan CO₂, setiap interval waktu tertentu (misalnya 1 jam), dicatat jumlah langkah pompa, minyak & gas terproduksi secara kumulatif, keadaan ruang (tekanan & temperatur) serta massa jenis minyak terproduksi rata-rata. Langkah pompa dalam hal ini digunakan untuk menghitung volume CO₂ yang telah didesakkan ke dalam coil.

Dari data-data tersebut dapat diketahui volume CO₂ yang telah diinjeksikan (didesakkan) dalam satuan volume pori dari coil (VP) serta persen perolehan minyak pada setiap interval waktu.

Tabel-2 dan Tabel-3 masing-masing memperlihatkan contoh pencatatan data dan perhitungannya untuk volume CO₂ yang didesakkan serta persen perolehan minyak, juga perbandingan gas dan minyak terproduksi (GOR).

SGt/SGm merupakan perbandingan antara massa jenis minyak terproduksi rata-rata dan massa jenis minyak mula-mula (sebelum dicampur dengan CO₂). Persen perolehan minyak dan volume CO₂ yang didesakkan tersebut dihitung dalam keadaan standar (60°F, 14.7 psig).

Selanjutnya Gambar-5 memperlihatkan skema diagram pengolahan data harga TTM-CO₂ pada setiap tempertur percobaan.

Sedang gambar selanjutnya (Gambar-6, 7, 8, 9 dan 10) menunjukkan persen perolehan minyak versus volume CO₂. Sampel yang dipakai ialah crude Nglobo yang mempunyai 43.7°API Gravity, 1.6961 Cp dan berat molekul C₇₊ = 183, dengan temperatur percobaan 176 °F dan tekanan pendesakan masing-masing 1200, 1700, 2000, 2300 dan 2500 psig

Dari hasil penelitian tersebut dapat dibuat plot antara perolehan minyak pada 1.2 volume pori dari CO₂ versus tekanan seperti terlihat pada Gambar-11. Maka dari Gambar-11 dapat dibaca harga TTM-CO₂ yaitu mulai terjadinya perubahan kemiringan kurva, dengan perolehan minyak yang maksimum. Pada kondisi tersebut (temperatur percobaan 176°F), *crude* Nglobo mempunyai harga TTM-CO₂ sebesar 2345 psig. Pada tekanan pendesakan di atas 2345 psig tidak terjadi kenaikan perolehan minyak yang berarti, karena telah terjadi perpindahan fasa komponen-komponen minyak ke fasa gas.

V. KESIMPULAN

1. Tekanan tercampur minimum CO₂ (TTM-CO₂) yang merupakan harga tekanan terendah agar terjadi suatu pendesakan tercampur (*miscible displacement*) selain dapat diperkirakan dari korelasi Holm, Yellig, dan National Petroleum Council, juga lebih tepat harga tersebut diperoleh dari percobaan laboratorium dengan menggunakan *slim-tube*.

Untuk contoh minyak bumi Nglobo, dengan 37°API Gravity, 1.6961 Cp BM C₇₊ = 183, dan temperatur percobaan 176°F, korelasi-korelasi Yellig dan Holm cukup baik, sedang National Petroleum Council memberikan perkiraan yang jauh dari kenyataan. Untuk sampel tersebut, masing-masing:

1. Korelasi Yellig, TTM. CO₂ = 2200 psig
 2. Korelasi, Holm, TTM. CO₂ = 2500 psig
 3. Korelasi NPC, TTM. CO₂ = 1550 psig
 4. Hasil penelitian, TTM. CO₂ = 2345 psig.
2. Pada penentuan TTM-CO₂ (lihat Gambar-11) hasilnya dipengaruhi oleh data-data yang diperoleh, terutama sebelum terjadi pendesakan tercampur. Makin banyak titik yang diperoleh sebelum pendesakan tercampur hasilnya akan semakin baik. Akan lebih baik lagi apabila titik-titik tersebut berada di dekat TTM-CO₂. Hal ini sudah barang tentu membutuhkan pengalaman dalam memperkirakan harga TTM-CO₂ sebelum percobaan laboratorium dimulai, sehingga penarikan garis untuk memperoleh harganya lebih akurat.

Tabel - 1
Korelasi TTM-CO₂
National Petroleum Council

°API GRAVITY	TTM-CO ₂ (psi)
27	4,000
27 - 30	3,000
30	1,200

Koreksi terhadap temperatur reservoir seperti tercantum pada tabel berikut.

Koreksi Temperatur

TEMPERATURE (°F)	KOREKSI (psi)
120	-
120 - 150	+ 200
150 - 200	+ 350
200 - 250	+ 500

Tabel-2

Contoh Pencatatan Data pada Percobaan

$T_{inj} = 80^{\circ}\text{C} = 176^{\circ}\text{F}$; $P_{inj} = 2300$ psig. ; $P_{pj} = 2600$ psig
 Tahap penjenjuran minyak : $T_{ruang} = 78^{\circ}\text{F}$; $P_{ruang} = 761$;
 Start pompa = 154 ; finish = 200 ; minyak tertampung = 16.5 cc
 Tahap injeksi CO_2 :

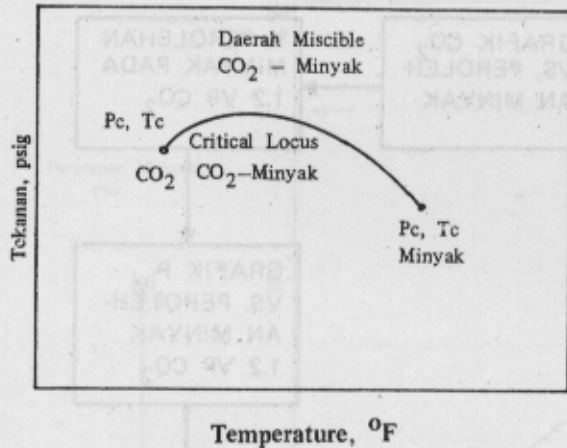
Posisi Pompa (cc)	Produksi Minyak (cc)	Produksi Gas (cc)	T_{ruang} ($^{\circ}\text{F}$)	P_{ruang} (mm Hg)
46	—	—	77.7	761
50	4.0	10	78.4	760
54	9.5	30	79.2	759
60	11	50	79.9	758
66	19.5	100	79.5	758
70	22.5	250	78.8	759
74	28	350	78.8	758
80	28.5	500	78.4	759
84	29	2500	—	—
86	29	3500	—	—

Tabel-3

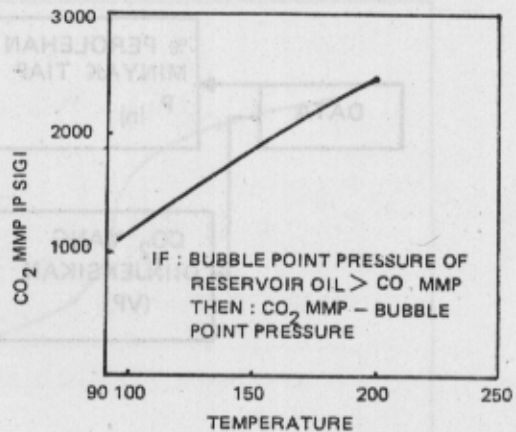
Contoh Perhitungan Dari Data

$T_{inj} = 176^{\circ}\text{F}$; $P_{inj} = 2300$ psig; $SG_t/SG_m = 1.0069$

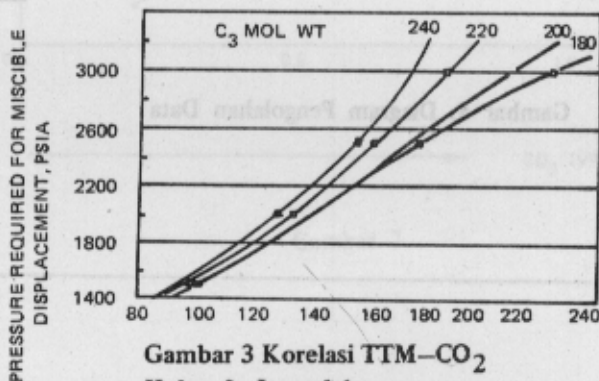
Kumulatif CO_2 (PV)	Kumulatif V_t (STD) (cc)	Perolehan Minyak (%)	G O R (cc/cc)
0.14	3.96	13.3	2.5
0.27	9.41	31.7	3.2
0.48	10.90	36.7	4.6
0.69	19.32	65.0	5.1
0.82	22.29	75.0	11.1
0.96	27.74	93.3	12.5
1.17	28.23	95.0	17.5
1.31	28.73	96.6	86.2
1.37	28.73	96.6	120.7



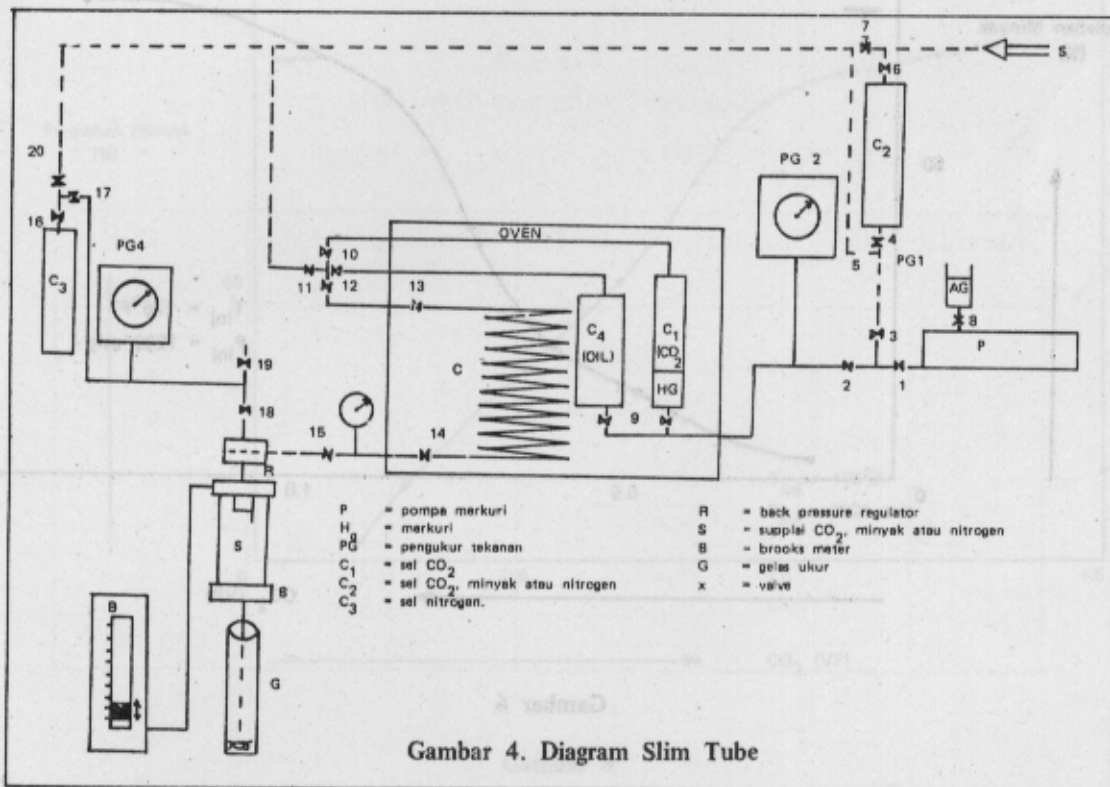
Gambar 1. Critical Locus CO₂-Minyak



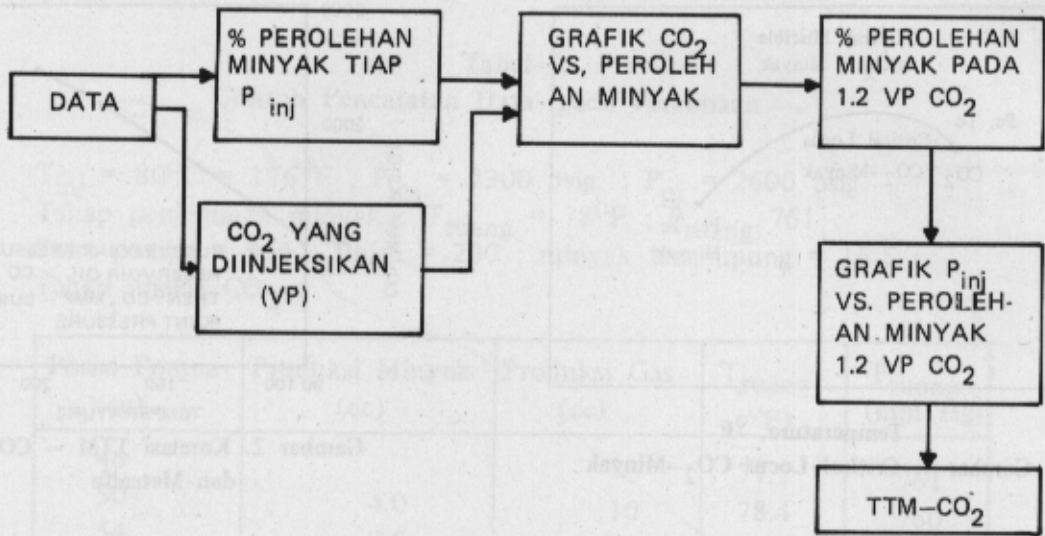
Gambar 2. Korelasi TTM - CO₂ Yellig dan Metcalfe



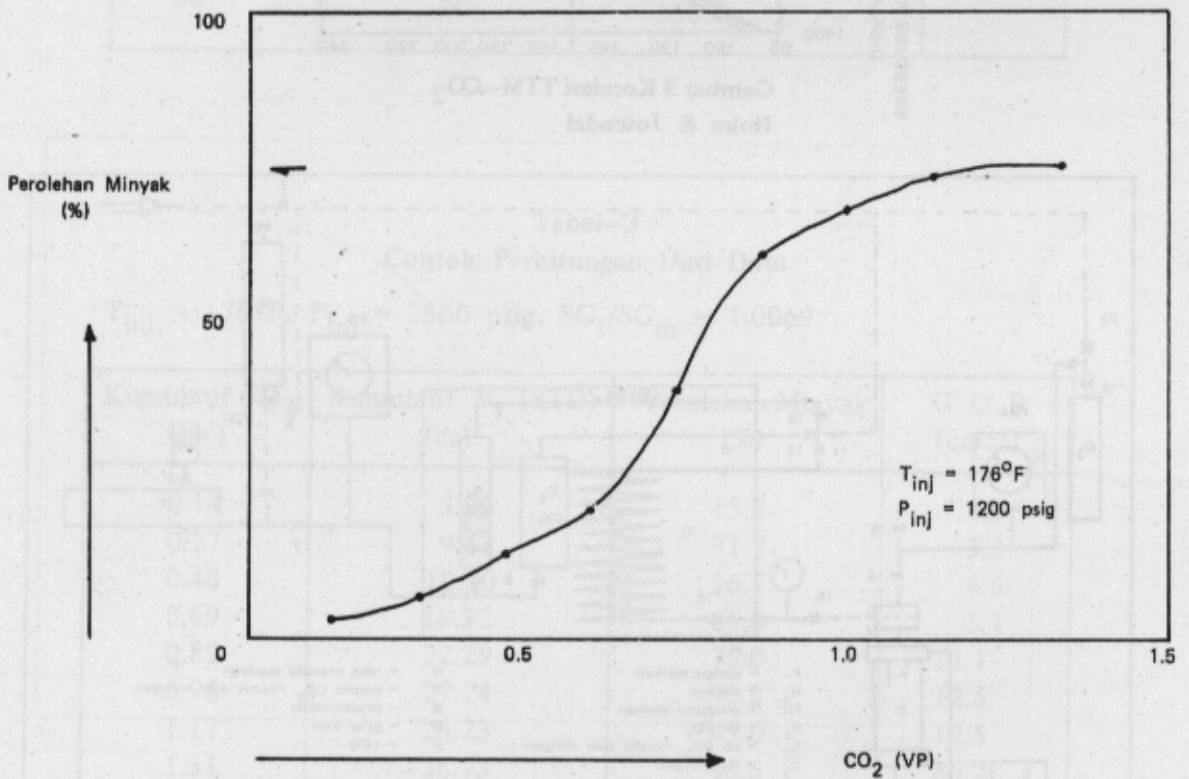
Gambar 3 Korelasi TTM-CO₂ Holm & Josendal



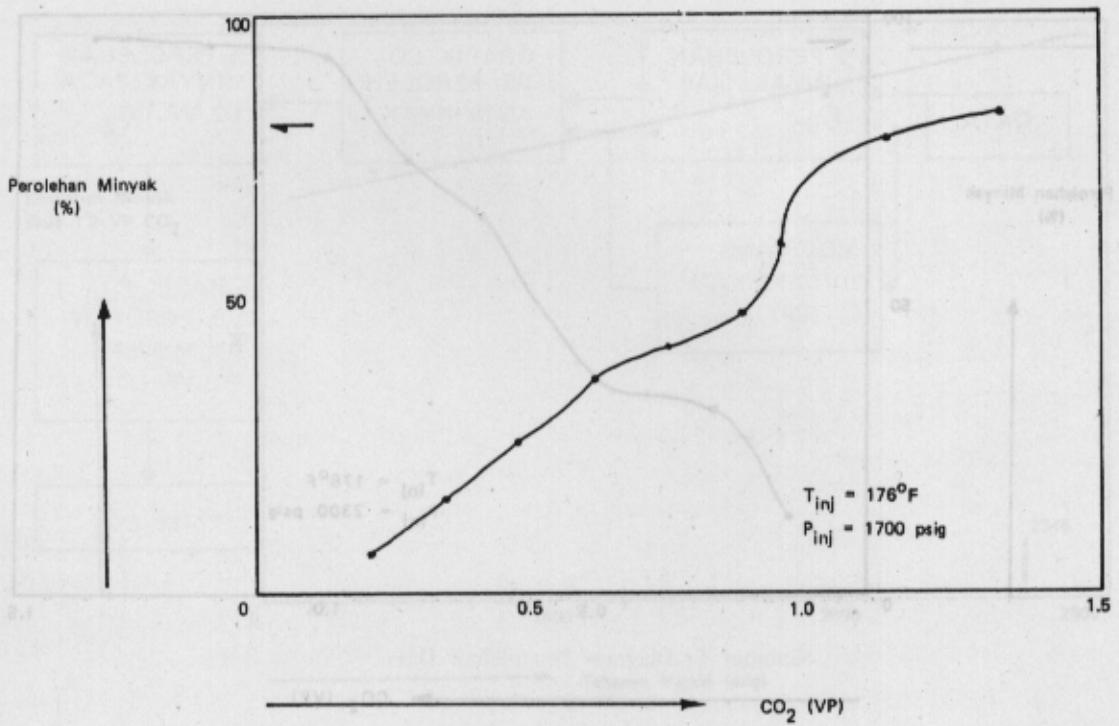
Gambar 4. Diagram Slim Tube



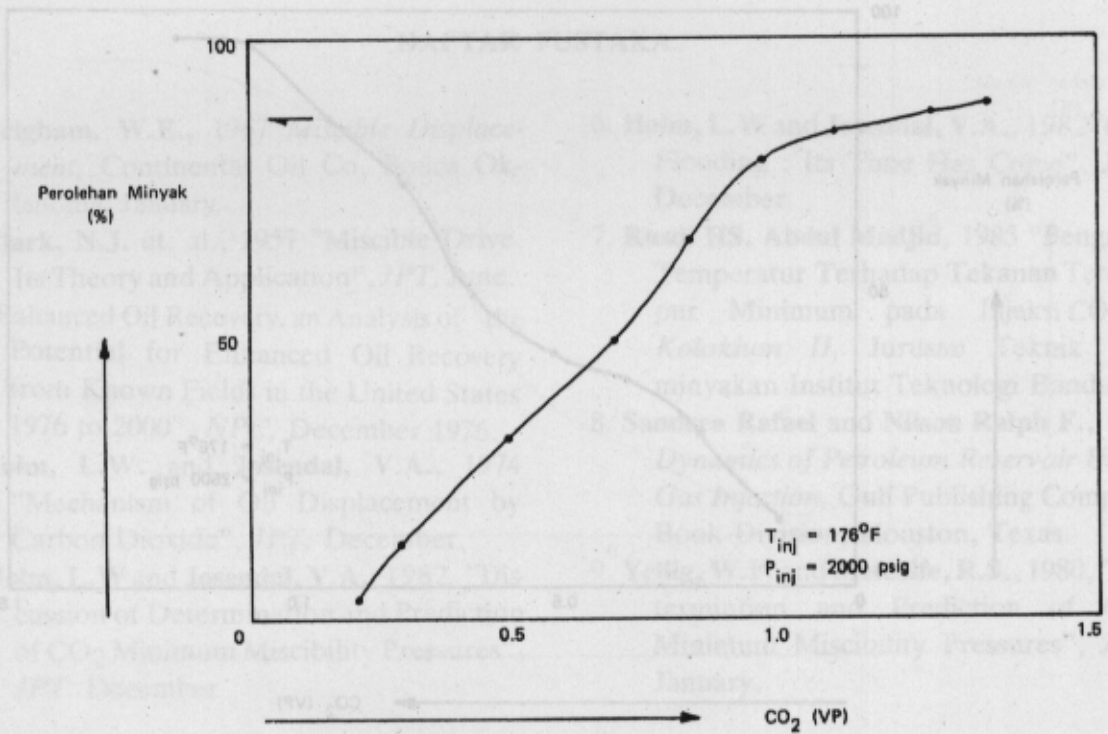
Gambar 5. Diagram Pengolahan Data



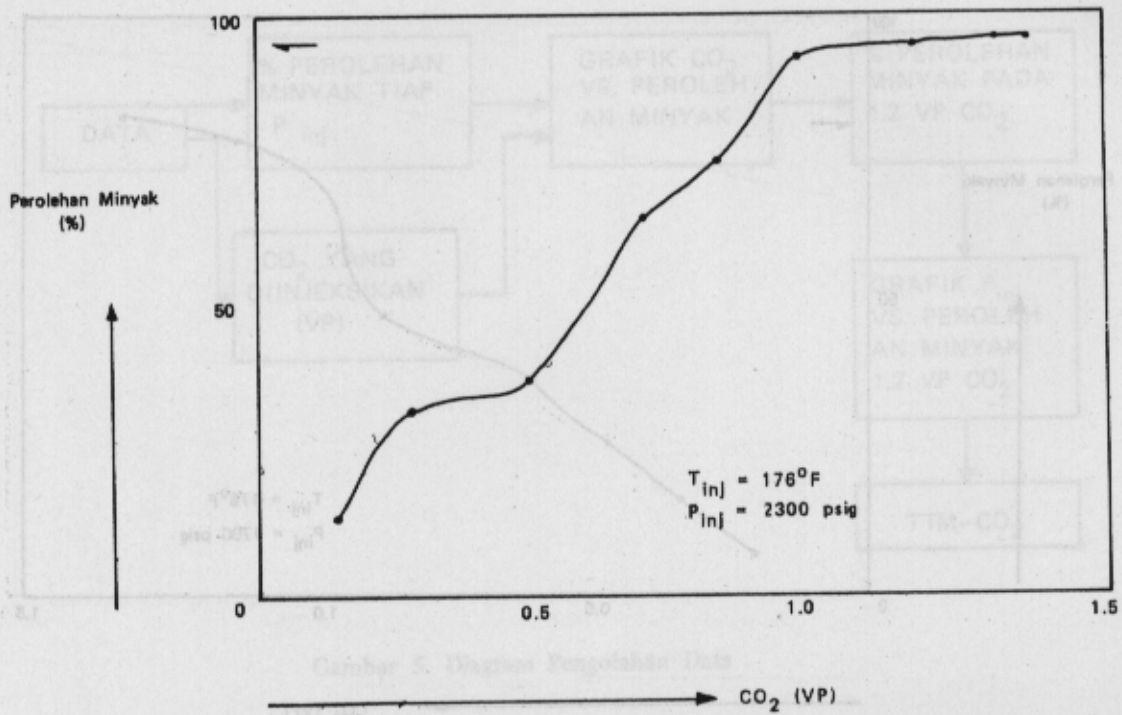
Gambar 6



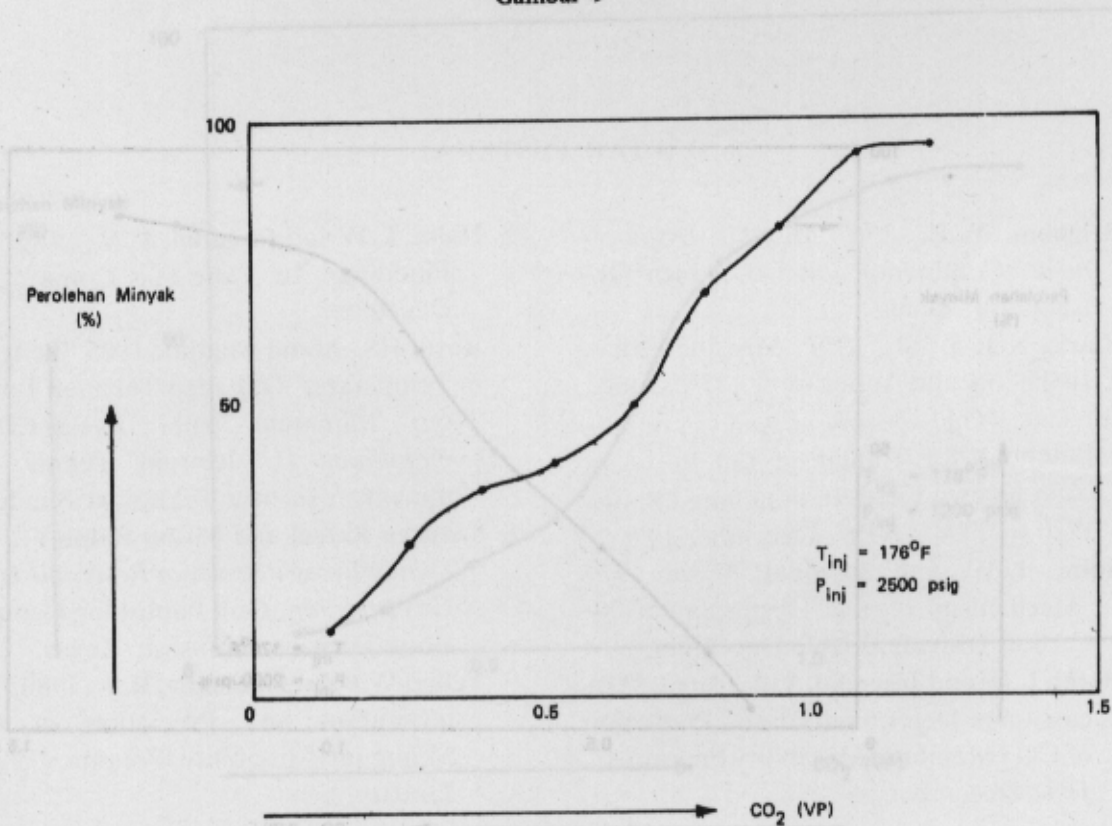
Gambar 7



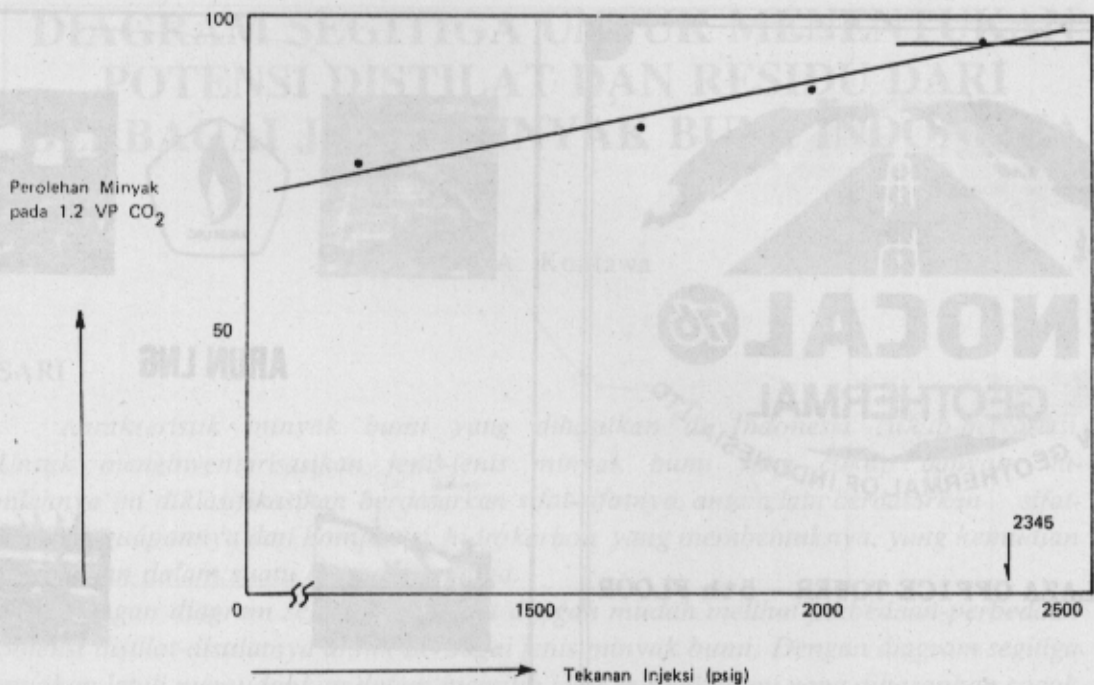
Gambar 8



Gambar 9



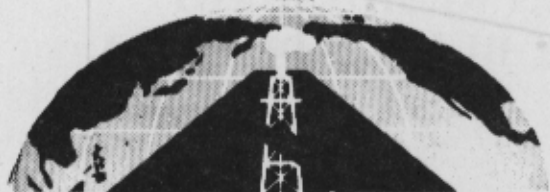
Gambar 10



Gambar 11. VS P_{inj} Perolehan Minyak pada 1.2 VP; $T_{inj} = 176^{\circ}\text{F}$

DAFTAR PUSTAKA

1. **Brigham, W.E.**, 1967 *Miscible Displacement*, Continental Oil Co, Ponca Oklahoma, January.
2. **Clark, N.J. et. al.**, 1957 "Miscible Drive. Its Theory and Application", *JPT*, June.
3. "Enhanced Oil Recovery, an Analysis of the Potential for Enhanced Oil Recovery from Known Fields in the United States 1976 to 2000", *NPC*, December 1976.
4. **Holm, L.W. and Josendal, V.A.**, 1974 "Mechanism of Oil Displacement by Carbon Dioxide", *JPT*, December.
5. **Holm, L.W and Josendal, V.A.**, 1982, "Discussion of Determination and Prediction of CO_2 Minimum Miscibility Pressures", *JPT*. December
6. **Holm, L.W and Josendal, V.A.**, 1982 "CO₂ Flooding : Its Time Has Come", *JPT*. December.
7. **Rusdi HS. Abdul Madjid**, 1985 "Pengaruh Temperatur Terhadap Tekanan Tercampur Minimum pada Injeksi CO₂", *Kolokium II*, Jurusan Teknik Perminyakan Institut Teknologi Bandung.
8. **Sandra Rafael and Nilson Ralph F.**, 1974 *Dynamics of Petroleum Reservoir Under Gas Injection*, Gulf Publishing Company Book Division, Houston, Texas.
9. **Yellig, W.F. and Metcalfe, R.S.**, 1980, "Determination and Prediction of CO₂ Minimum Miscibility Pressures", *JPT*. January.



UNOCAL 76

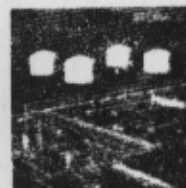
GEOHERMAL

UNION GEOHERMAL OF INDONESIA, LTD.

RATU PLAZA OFFICE TOWER - 5th FLOOR

JL. JEN. SUDIRMAN JAKARTA

TELEPHONE : 712509



ARUN LNG



**PT. ARUN NATURAL GAS LIQUEFACTION COMPANY
PLANT OPERATOR**

JAKARTA OFFICE ■ WISMA NUSANTARA PLANT ■ LHOKEUMAWA ACEH UTARA



EXPERIENCE IS OUR GROWTH
pt. pertamina tongkang

(OWNERS OF SUPPLY VESSELS)

GEDUNG PATRA LANTAI 11 & 12 JL. JENDERAL GATOT SUBROTO KAV.32-34

JAKARTA 12950 - INDONESIA

PHONE : 515206, 515504, 515364, 515349

TELEX : 62661 PTK JKT, P. O. BOX 265 JKT

ACTIVITIES :

- Offshore Operations
- Transportations & Bulk Supplies
- Anchor Handling
- Rig Towing/Moving
- Ocean Towing
- Chartering
- Salvage
- Underwater Services
- Terminal Operations
- Agencies
- Offshore Survey
- Bunkering services in Batam Islands
- Water supply services in Batam Islands
- Warehousing in Kabili (Batam Islands)
- Office space rent in Batu Ampar (Batam Islands)
- Stevedoring & Cargodoring in Batam, Merak, Balikpapan, Bontang & Tarakan

