

ANALISA UJI TUTUP (*PRESSURE BUILDUP TEST*) DENGAN MENGGUNAKAN SOLUSI PERSAMAAN DIFUSI ALIRAN SATU FASE

Hardiyanto¹

¹Program Studi Nautika, Politeknik Negeri Bengkalis

E-mail: hardiyanto@polbeng.ac.id

Abstrak

Tekanan menjadi salah satu indikator untuk mengetahui parameter reservoir. Berdasarkan solusi persamaan difusi maka diperoleh gambaran aliran fluida minyak pada reservoir. Solusi persamaan difusivitas ini memerlukan dua syarat batas sebagai syarat dalam dimensi ruang dan satu syarat keadaan awal sebagai syarat dimensi waktu. Solusi tersebut ditentukan dengan menggunakan Transformasi Laplace. Solusi tersebut selanjutnya digunakan sebagai analisis Uji Tutup (*Pressure Buildup Test*). Hasil plot dari solusi diperoleh nilai parameter reservoir diantaranya permeabilitas dan tekanan rata-rata. Dalam penelitian ini digunakan CMG-IMAX sebagai simulator sumur dengan metode *Horner Plot*. Hasil penelitian ini terbukti bahwa nilai permeabilitas analisa hasil simulator dan nilai input konsisten.

Kata kunci - persamaan difusi, tekanan transien, *Buildup test*.

Abstract

Pressure becomes one of the indicators to know the reservoir parameter. Based on solution of equation of diffusion hence obtained picture fluid flow of oil at reservoir. The solution of this diffusivity equation requires two boundary conditions as a condition in the space dimension and one condition of the initial state as a condition of the time dimension. The solution is determined using Laplace Transformation. The solution used to Buildup Test. The result of plot of the solution obtained the value of reservoir parameters such as permeability and mean pressure. In this research used CMG-IMAX as well simulator and Horner Plot method to determined. The results of this study proved that the permeability value of simulator result analysis and input value are consistent.

Keywords - diffusion equation, pressure transient, buildup.

1. PENDAHULUAN

Test tekanan transient yang sering diterapkan pada sumur produksi umumnya terdiri dari uji alir (*Drawdown test*) dan uji tutup (*Buildup test*). Kedua uji tersebut dapat digunakan untuk mengetahui nilai permeabilitas maupun faktor-faktor lain yang ikut mempengaruhi perilaku aliran fluida dalam media berpori atau reservoir seperti faktor kerusakan sekitar lubang sumur atau biasa disebut dengan faktor skin (skin faktor), bentuk reservoir, volume pengurasan, dan tekanan rata rata reservoir. Permeabilitas merupakan gambaran reservoir migas yang perlu dianalisa untuk mengetahui suatu kapasitas atau kemampuan produksi suatu reservoir. Sehingga dikembangkan suatu model

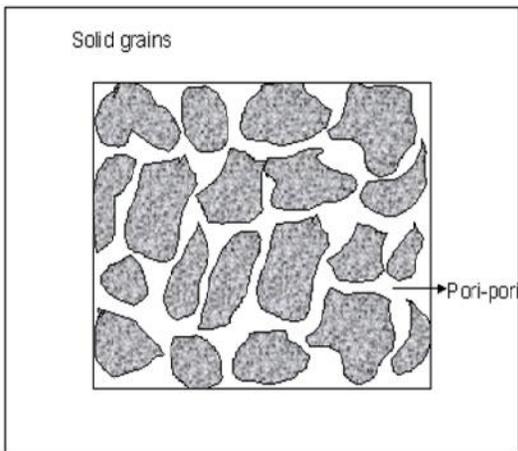
matematik yang mendeskripsikan aliran dalam reservoir sebagai media aliran berpori yang dikenal dengan persamaan difusi.

2. METODE

Optimasi produksi merupakan upaya dalam meningkatkan produksi minyak dengan melakukan rekayasa teknik pengambilan meliputi teknologi pemompaan maupun rekayasa reservoir. Dalam teknik rekayasa reservoir diperlukan beberapa sifat yang perlu diketahui sebelum melakukan salah satu metoda peningkatan perolehan minyak yaitu porositas, permeabilitas, saturasi, wettability dan kompresibilitas batuan.

Porositas merupakan persentase dari total ruang yang tersedia untuk ditempati oleh cairan dan

gas. Porositas bisa terbentuk disebabkan oleh celah dari pertemuan butir-butir pasir, serta adanya retakkan.



Gambar 1. Porositas Batuan[2]

Permeabilitas didefinisikan sebagai kemampuan batuan dalam mengalirkan cairan. Apabila media berpori pada batuan tidak saling berhubungan maka batuan ini dikatakan tidak mempunyai permeabilitas, satuan dari permeabilitas adalah darcy. Karena nilainya dapat dihitung dengan hukum darcy pada aliran berpori dengan menemukan solusi persamaan aliran atau dikenal dengan istilah persamaan difusi.

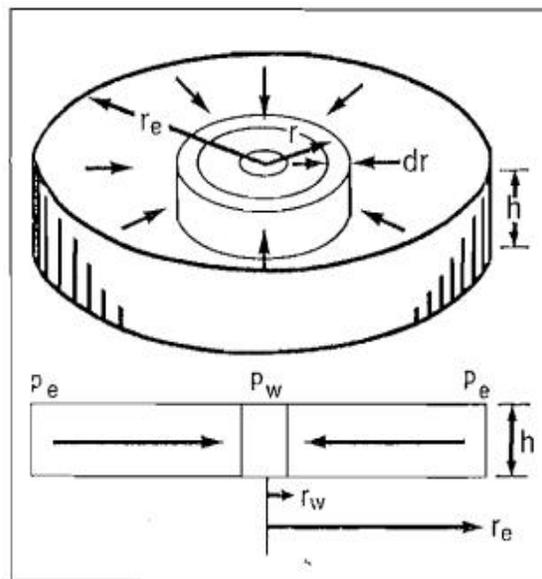
Dalam keadaan statik, gaya yang bekerja dalam pori-pori dan butiran berada dalam keadaan seimbang. Gaya-gaya tersebut adalah gaya overburden dan tekanan formasi. Apabila reservoir diproduksi maka tekanan formasi akan berkurang sehingga keseimbangan akan terganggu, yang mengakibatkan penyusutan, hal ini dikenal dengan kompresibilitas batuan. Faktor lain yang perlu diperhatikan adalah nilai wettability yang didefinisikan sebagai kecenderungan dari suatu fluida untuk menyebar atau melekat kepermukaan batuan dengan adanya fluida tak tercampur lainnya. Sebuah cairan fluida akan bersifat membasahi bila gaya adhesi antara batuan dari partikel

cairan lebih besar dari pada gaya kohesi antar partikel cairan itu sendiri.

Aliran minyak pada reservoir dalam batuan merupakan hal yang penting untuk dikaji dalam produksi minyak. Hal ini dikarenakan sebelum minyak mengalir ke permukaan terlebih dahulu minyak akan mengalir dan berkumpul di dasar sumur seperti terlihat pada gambar II.4. Aliran minyak dalam pori batuan ini dapat dihitung dengan hukum Darcy memenuhi persamaan berikut:

$$q = -A \frac{k dp}{\mu dr} \tag{1}$$

Persamaan diferensial dasar untuk aliran radial dalam media berpori ini akan menunjukkan bagaimana aliran fluida di daerah sekitar lubang bor seperti terlihat pada gambar 2. Untuk mendapatkan persamaan diferensial diasumsikan aliran bergerak secara radial menuju lubang bor untuk sumur produksi atau bergerak secara radial dari lubang bor untuk sumur injeksi.



Gambar 2. Ilustrasi aliran minyak menuju dasar sumur [2]

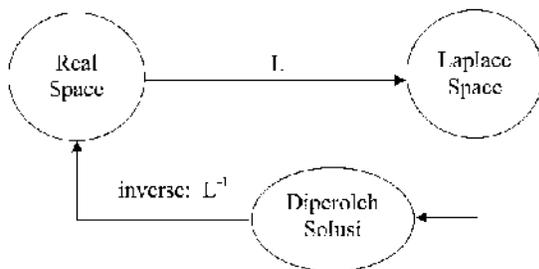
Namun untuk membuat suatu persamaan yang menggambarkan keadaan sama dengan keadaan tidaklah mudah, sehingga untuk memudahkan analisis maka dilakukan penyederhanaan sebagai berikut :

- a. Reservoir dianggap homogen, yaitu sifat-sifat batuan reservoir seperti porositas, distribusi butir dan sifat-sifat lainnya.
- b. Reservoir memiliki permeabilitas isotropik, yaitu permeabilitas vertikal dan horizontalnya seragam.
- c. Sumur dikompleksi di seluruh ketebalan formasi, hal ini dilakukan untuk memastikan terjadinya aliran fluida secara radial dari *reservoir* menuju lubang bor.
- d. Tekanan konstan pada suatu jarak r_e dari titik pengamatan.
- e. Formasi sepenuhnya disaturasi 1 fase

Dengan menganggap terjadi aliran fluida satu fase melalui suatu elemen volume setebal dr yang terletak sejauh r dari pusat radial yaitu lubang sumur. Dengan mengaplikasikan hukum kekekalan aliran massa (konservasi massa) didapat persamaan sebagai berikut .

$$\frac{d^2 p}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dp}{dr} = \frac{w-c_i}{(2,634 \times 10^{-4})} \frac{dp}{dt} \quad (2)$$

Penyelesaian secara analitik umumnya dilakukan menggunakan metode transformasi. Metode transformasi yang dapat digunakan adalah transformasi laplace. skema penggunaan transformasi dapat dilihat dari bagan berikut.



Gambar 3. Skema Transformasi Laplace

Invers transformasi laplace dapat menggunakan cara analitik maupun numerik. Solusi analitik terhadap syarat awal untuk aliran satu fasa didalam media berpori bisa di peroleh dalam dua bentuk yaitu Solusi eksak, yaitu solusi dalam bentuk transformasi laplace. Solusi pendekatan (*Approximation Solution*). Persamaan umum transformasi laplace dan inversnya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$L\{f(t)\} = \tilde{f}(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt \quad (3)$$

dan inversnya dapat dituliskan:

$$L^{-1}\{\tilde{f}(s)\} = f(t) \quad (4)$$

dengan $f(t)$ suatu fungsi.

Transformasi *laplace* maupun inversnya ini sudah dipermudah dari beberapa sumber dalam bentuk tabel sehingga bisa digunakan dengan mudah. Hanya ada beberapa invers transformasi memerlukan metode komputasi untuk menyelesaikannya.

Invers transformasi laplace yang tidak bisa langsung dilihat dari tabel bisa digunakan metode penyederhanaan yang terbagi menjadi beberapa metode diantaranya yaitu:

- a. Metode pecahan parsial.
- b. Metode Deret
- c. Metode Persamaan diferensial

Dalam penelitian ini terdapat solusi persamaan difusi ini dalam bentuk modifikasi fungsi *bessel* sehingga diperlukan teknik atau beberapa metode untuk menyelesaikan invers transformasi laplace.

Persamaan diferensial dasar untuk aliran radial dalam media berpori ini akan menunjukkan bagaimana aliran fluida di daerah sekitar lubang bor. Namun untuk membuat suatu persamaan yang menggambarkan keadaan sama dengan keadaan tidaklah mudah, sehingga untuk memudahkan analisa maka dilakukan

penyederhanaan.

Solusi eksak persamaan difusi untuk aliran radial dalam media berpori dapat menggambarkan perilaku dari aliran dalam reservoir diatas maka dicari suatu solusi eksak untuk *pressure buildup test* dengan asumsi aliran radial fluida incompressible, aliran laminar (yaitu aliran yang mengikuti hukum Darcy), permeabilitas konstan dan isotropik, kompresibilitas batuan konstan, mengabaikan efek gravitasi, viskositas konstan terhadap tekanan, porositas konstan, kompresibilitas fluida kecil dan konstan-tidak tergantung pada tekanan. Oleh karena itu, untuk menganalisis data *pressure buildup test* digunakan aproksimasi logaritmik untuk masing-masing sumur sehingga

$$\text{diperoleh : } p_{ws} = p_i - 162,6 \frac{q-B}{kh} \log \left(\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t} \right) \quad (5)$$

Dari hasil plot test buildup ini bisa digunakan untuk memprediksi permeabilitas dari kemiringan horner plot:

$$k = \frac{162,6q-B}{mh} \quad (6)$$

Solusi persamaan difusi ini bisa digunakan sebagai dasar analisis aliran dalam *reservoir* disebut dengan tes tekanan *transient*.

Proses *Pressure Buildup Testing* dimulai dengan memproduksi sumur dengan laju produksi konstan untuk waktu yang cukup lama sampai tekanan menjadi stabil pada periode *pseudosteady state*, kemudian menutup sumur (biasanya dipermukaan) sehingga tekanan disumur naik dan selanjutnya perubahan tekanan tersebut diminitor dan dicatat terhadap waktu. Dengan demikian, pada proses Buildup test ini relatif mudah dikarenakan laju produksi secara otomatis konstan sama dengan nol.

Penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan. tahapan penelitian yang dilakukan meliputi rancang simulasi sumur menggunakan CMG-IMAX, melakukan tes uji tutup (*Pressure Buildup Test*) pengambilan data dan analisa data menggunakan horner plot.

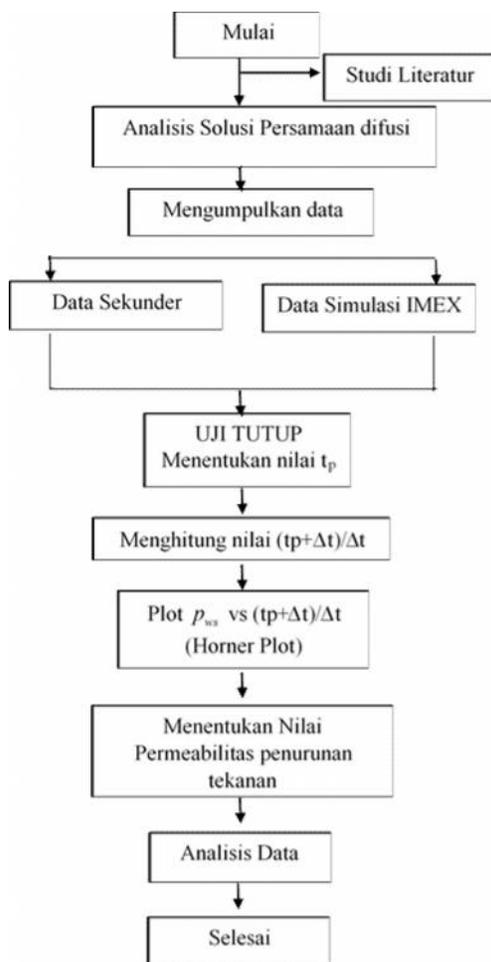
Dalam penelitian ini digunakan solusi persamaan difusi sebagai alat untuk menganalisis data dari suatu lapangan minyak X yang disimulasikan menggunakan CMG-IMEX. Data tersebut berupa data rekaman tekanan selama uji tutup (*Pressure Buildup Test*) berlangsung. Selanjutnya di design suatu sumur produksi menggunakan simulator CMG-IMEX yang selanjutnya diberi pelaksanaan uji tutup sumur dan dicatat data perubahan tekanan terhadap waktu. Untuk menganalisis data dari uji tutup ini menggunakan *plot log-log* data dan *Horner plot*.

Adapun validasi simulator yang dirancang dengan menggunakan data skunder lapangan X. Selanjutnya sumur yang sudah sesuai dengan keadaan riil diberi perlakuan berupa uji tutup (*pressure buildup test*).

Adapun data yang diperlukan dari lapangan adalah :

- Lama produksi sebelum uji tutup.
- Laju aliran produksi yang distabilkan sebelum uji tutup dilaksanakan
- Porositas batuan *reservoir*
- Kompresibilitas Total
- Jari-jari lubang sumur
- Faktor volume formasi minyak
- Viskositas minyak
- Tebal formasi

Skema penelitian ini digambarkan seperti bagan berikut.



Gambar. 4 Skema penelitian

Untuk melaksanakan uji tutup atau *pressure buildup test* dilapangan diperlukan beberapa tahapan pelaksanaan sebagai berikut:

1. Plot (pws-pwf) vs t dengan log-log plot untuk mencari daerah MTR nya.
2. Plot pws vs log (tp+ t)/ t yang akan menghasilkan garis lurus.
3. Dicari nilai kemiringan atau gradien dari plot data
4. Dihitung nilai permeabilitas.
5. Selanjutnya nilai tekanan untuk (tp+ t)/ t=1 dicari dengan cara ekstrapolasi garis kemiringan.
7. Dihitung penurunan tekanan akibat faktor formasi disekitar sumur produksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam analisis data uji tutup pada sumur simulasi ini terlebih dahulu dilakukan pembagian data agar bisa dianalisis sesuai persamaan yang berlaku. Untuk mengetahui pembagian region ini dilakukan plot log-log antara (pws-pwf) dan (tp+ t)/ t .

Dari plot semilog dicari nilai kemiringan atau gradient pada daerah MTR:

$$m = \left| \frac{dp_{wf}}{d \log((t_p + \Delta t) / \Delta t)} \right| \tag{7}$$

Selanjutnya dicari permeabilitasnya sesuai persamaan 2. Sedangkan kehilangan tekanan karena faktor skin ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$\Delta p_{s_k} = 0,869ms \tag{8}$$

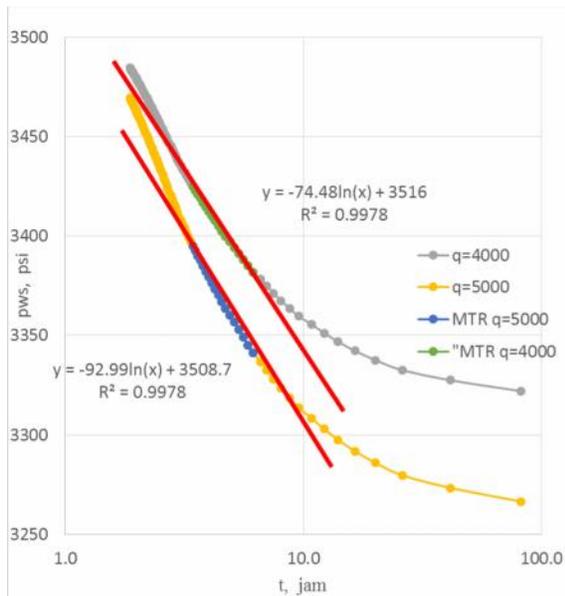
Data sumur simulator CMG-IMEX data yang diinput sebagai data karakteristik reservoir dan parameter pendukung lainnya disajikan pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Data input simulator CMG IMEX

N0	Parameter	Nilai	Satuan
1	h	33	ft
2	μ	1,159	cp
3	φ	0,12	
4	q	4000-5000	Stb/day
5	B	1,125	bbl/STB
6	re	-	ft
7	rw	0,35	ft
8	pi	3545	psi
9	c	5,00E-06	1/psi
10	tp	23	hour
11	k	150	md
12	s _k	-	

Dari plot log-log data didapat garis linier yang

merupakan rentang MTR. Selanjutnya untuk memprediksi permeabilitas reservoir dilakukan plot semilog antara pws dan $(tp+ t)/ t$, maka diperoleh grafik seperti berikut.



Gambar 5. Grafik Plot semilog dari (pws-pwf) vs $(tp+ t)/ t$.

Hasil dari perhitungan uji tutup diperoleh nilai permeabilitas sebesar 149,9 md dengan penurunan tekanan sebesar 1887,72 psi pada laju produksi sebelum proses uji tutup dilaksanakan sebesar 5000 bbl/jam sedangkan nilai permeabilitas sebesar 149,8 md dengan penurunan tekanan sebesar 1507,17 psi pada laju produksi sebelum proses uji tutup dilaksanakan sebesar 4000 bbl/jam.

4. KESIMPULAN

Dari pembahasan diatas maka dapat disimpulkan bahwa dari perhitungan ini terlihat bahwa nilai permeabilitas pada sumur simulator memiliki kecenderungan sama tiap perlakuan yang diberikan dengan besar perbedaan yang sangat kecil sehingga penggunaan solusi persamaan difusi ini dapat digunakan untuk menganalisa parameter reservoir.

Untuk penelitan yang selanjutnya akan lebih menarik jika untuk penelitian selanjutnya digunakan transformasi atau metode lain untuk mendapatkan solusi persamaan difusi tersebut dan dilakukan peninjauan pada selang waktu lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami dari hati yang paling dalam mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penelitian ini secara khusus kami mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bengkalis yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abramowitz, M. & Stegun, I. A. 1972. (eds.) *Handbook of Mathematical Functions* Dover Publications, inc., NY,
- [2] Beegs .H.D, 1989, "Production Optimization Using NODAL Analysis OGCI and Petroskills Publication ,Tulsa, Oklahoma Houston D.F. 1972. Rice Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemist, Inc. Minnesota
- [3] Gringarten, Alain C., Ramey, . 1972. Pressure Analysis for Fractured Wells. *Journal SPE 4051* presented at the SPEAIME 47th Annual Fall Meeting, San Antonio, Tex., Oct. 8-11, 1972.

- [4] Horner, D. R. 1951. *"Pressure Build-Up in Wells,"* Proc., Third World . The Hague
- [5] Habte ,A. D. 2009. *Pressure Analysis Of A Well With An Inclined Asymmetric Hydraulic Fracture.* Thesis IN PETROLEUM ENGINEERING. Abuja-Nigeria
- [6] John lee. 1982. *Well testing.* First Printing. New York, Macmillan (1982),
- [7] Matthews, C.S. and Russell, D.G.1967. Pressure Buildup and Flow Tests in Wells. *Journal of SPE Monograph vol.1,*
- [8] Odeh, A.S. 1995. Pressure Drawdown Analysis, Variabel-Rate Case. *Journal Of Petroleum Technology,* vol 960. 08-1995
- [9] Ramey, H. J., Jr. 1970.: *"Short-Time Well Test Data Interpretation in the Presence of Skin Effect and Wellbore Storage,"* J. Pet. Tech. Trans.AIME.