

## DIFUSIVITAS ALIRAN FLUIDA MINYAK PADA RESERVOIR DAN MODIFIKASINYA UNTUK UJI ALIR DAN TUTUP

Hardiyanto  
Program Studi DIII Nautika Politeknik Negeri Bengkalis  
hardiyanto@polbeng.ac.id

### Abstrak

Aliran fluida dalam media berpori digambarkan dengan persamaan difusivitas yang solusinya dapat digunakan sebagai indikator untuk mengenali karakteristik dari suatu reservoir. Untuk mencari solusi persamaan difusivitas ini diperlukan 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 penurunan tekanan pada uji alir dan tutup. Hasil plot dari solusi diperoleh nilai parameter reservoir diantaranya permeabilitas, volume reservoir, dan tekanan rata-rata.

**Kata-kata kunci:** persamaan difusivitas, tekanan transien, drawdown-Buildup.

### Abstract

The fluid flow in porous media is illustrated by a diffusivity equation whose solution can be used as an indicator to recognize the characteristic of a reservoir. To find a solution of this diffusivity equation takes two boundary conditions as space dimension and one dimension of the initial state as a condition for the time dimension. The solution is determined by using the Laplace transform and then used as a test analysis of pressure drop in a flow test (Pressure Drawdown Test) and Pressure buildup Test. The plot of the solution used to prediction reservoir parameters such as permeability, volume of the reservoir and the average pressure.

**Keywords:** diffusion equation, the pressure transient, the drawdown-buildup.

### PENDAHULUAN

Salah satu karakteristik utama yang selalu ingin diketahui dari suatu reservoir adalah tingkat atau kapasitas produksi sebagai fungsi dari waktu. Untuk mengetahui hal tersebut, biasanya digunakan model yang mengaitkan laju alir dan/atau tekanan terhadap waktu. Model yang dimaksud di sini adalah model matematis yang mendeskripsikan aliran dalam batuan reservoir dimana batuan berperan sebagai media alir berpori. Model matematis tersebut disebut dengan persamaan difusivitas. Solusi terhadap persamaan ini, baik solusi analitik maupun solusi numerik (yang umumnya menggunakan pendekatan *finite difference*) merupakan dasar untuk melakukan evaluasi dan analisis kinerja produksi dan peramalan kinerja reservoir pada waktu yang akan datang. Solusi persamaan difusivitas ini bisa digunakan sebagai dasar analisis aliran dalam reservoir.

Solusi ini yang sering digunakan untuk analisa sumur produksi yang salah satunya adalah uji alir (*Drawdown test*) dan Uji

Tutup (*Buildup Test*). Uji tersebut digunakan untuk mengetahui nilai permeabilitas maupun faktor-faktor lain yang ikut mempengaruhi aliran fluida dalam media berpori

Dalam penelitian ini dilakukan penurunan persamaan difusivitas yang selanjutnya dimodifikasi sehingga bisa digunakan untuk memprediksi karakteristik reservoir. Beberapa sifat yang perlu diketahui sebelum melakukan salah satu metoda peningkatan perolehan minyak yaitu porositas, permeabilitas, saturasi, wettability dan kompresibilitas batuan.

### TINJAUAN PUSTAKA

#### *Porositas*

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 retakan.

#### *Permeabilitas*

Permeabilitas di definisikan 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.

#### *Wettability*

*Wettability* didefinisikan sebagai kecenderungan dari suatu fluida untuk menyebar atau melekat ke permukaan 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.

#### *Persamaan Aliran fluida*

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 sehingga diperoleh persamaan yang dikenal dengan persamaan difusi aliran fluida dalam media berpori.

### **METODE**

Persamaan difusivitas diperoleh dari persamaan kontinuitas yang memodelkan perubahan jumlah massa terhadap perubahan waktu. Dengan kata lain, pada dasarnya persamaan ini menyatakan hukum kekekalan massa.

Persamaan difusivitas diperoleh dengan menggabungkan persamaan-persamaan yang terkait satu sama lain dalam menyatakan hubungan dengan perubahan jumlah dan keadaan massa pada suatu waktu dan pada lokasi tertentu. Persamaan-persamaan tersebut adalah:

1. Persamaan kontinuitas (*continuity equation*), yaitu hukum kekekalan massa
2. Persamaan gerak (*equation of motion*, EOM), yaitu hukum Darcy
3. Persamaan keadaan (*equation of state*, EOS), yang menyatakan hubungan keadaan (*state*) dari material terhadap perubahan tekanan

Dalam penelitian ini digunakan metode transformasi. Transformasi yang dapat digunakan adalah transformasi Laplace untuk menentukan solusi persamaan difusivitas.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Persamaan diferensial dasar untuk aliran radial dalam media berpori ini akan menunjukkan bagaimana aliran fluida di daerah sekitar lubang bor. Untuk mendapatkan persamaan diferensial diasumsikan aliran bergerak secara radial menuju lubang bor, reservoir dianggap homogen, reservoir memiliki permeabilitas isotropik, tekanan konstan dan formasi sepenuhnya disaturasi 1 fasa.

Dengan mengaplikasikan hukum kekekalan aliran massa, persamaan keadaan dan hukum darcy didapat persamaan sebagai berikut :

$$\frac{d^2 p}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dp}{dr} = \frac{w-c}{k} \frac{dp}{dt} \quad (1)$$

atau dapat dituliskan dalam satuan lapangan sbagai berikut:

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

Untuk mendapatkan solusi analitik persamaan difusivitas, terlebih dahulu persamaan tersebut ditransformasikan kedalam bentuk tak berdimensi dengan mendefinisikan variabel tak berdimensi berdasarkan keadaan keadaan produksi di sumur produksi. Keadaan sumur produksi dapat dibagi menjadi dua keadaan yaitu laju produksi sumur konstan dan tekanan sumur produksi konstan sebagai berikut:

$$p_D = \frac{kh(p_i - p)}{141,2qB}, \quad r_D = \frac{r}{r_w} \quad (3)$$

$$t_D = \frac{(2,634 \times 10^{-4})kt}{\sim cwr_w^2}, \quad r_{De} = \frac{r_e}{r_w}$$

Untuk mendapatkan solusi analitik persamaan difusivitas, terlebih dahulu persamaan tersebut ditransformasikan kedalam bentuk tak berdimensi dengan mendefinisikan variabel tak berdimensi berdasarkan keadaan keadaan produksi di sumur produksi. Keadaan sumur produksi

dapat dibagi menjadi dua keadaan yaitu laju produksi sumur konstan dan tekanan sumur produksi konstan.

Variabel tak berdimensi untuk tekanan sumur produksi konstan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$q_D = \frac{141,2qB\bar{~}}{kh(p_i - p_{wf})} \quad (4)$$

$$p_D = \frac{p_i - p}{p_i - p_{wf}}$$

Sehingga persamaan difusi (persamaan 4) di transformasikan kedalam variabel tak berdimensi menjadi :

$$\frac{d^2 p_D}{dr_D^2} + \frac{1}{r_D} \frac{dp_D}{dr_D} = \frac{dp_D}{dt_D} \quad (5)$$

Persamaan 5 merupakan bentuk umum persamaan diferensial yang memiliki solusi umum dalam bentuk fungsi besel termodifikasi. Solusi persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\bar{p} = A I_0(r_D \sqrt{s}) + B K_0(r_D \sqrt{s}) \quad (6)$$

Untuk mencari solusi khusus tertentu digunakan dua syarat batas diatas. Adapun dua syarat batas itu adalah syarat batas pada sumur dan syarat batas luar reservoir.

Jika sumur diproduksi dengan laju produksi konstan dan reservoir tak terbatas (*infinite acting*).

syarat batas dalam pada sumur :

$$\lim_{r_w \rightarrow 0} r \frac{\partial p}{\partial r} = -\frac{141,2qB\bar{~}}{kh}$$

Syarat batas luar reservoir:

$$\lim_{r_e \rightarrow \infty} p(r_e, t) = p_i$$

Syarat batas tersebut di transformasikan ke ruang laplace sebelum digunakan untuk mencari solusi khusus persamaan 6. Sehingga diperoleh solusi khusus sebagai berikut:

$$\bar{p} = \frac{1}{s} K_0(r_D \sqrt{s})$$

Persamaan tersebut di inverskan dari ruang laplace[4] sehingga diperoleh persamaan dalam satuan lapangan dan mengganti variabel tak berdimensi menjadi:

$$p(r, t) = p_i + \frac{70,6q\bar{~}B}{kh} E_i \left( \frac{-w\bar{~}cr^2}{0,00105kt} \right) \quad (8)$$

Untuk sumur diproduksi dengan tekanan konstan dan jari-jari reservoir tak terbatas (*infinite acting*)

Syarat batas dalam pada sumur :

$$p(r = r_w, t) = p_w$$

Syarat batas luar reservoir:

$$\lim_{r_e \rightarrow \infty} p(r_e, t) = p_i$$

Syarat batas tersebut di transformasikan ke ruang laplace sebelum digunakan untuk mencari solusi khusus persamaan 6. Sehingga diperoleh solusi khusus sebagai berikut:

$$\bar{p}(r_D, t_D) = \frac{K_0(r_D \sqrt{s})}{s K_0(\sqrt{s})}$$

Invers untuk transformasi laplace ini menurut Van Everdingen dan Hurst (*The Application of the Laplace Transformation to Flow Problems in Reservoirs, Petroleum Transactions AIME, 305-324, 1949*) dapat dituliskan menjadi:

$$p(r_D, t_D) = \frac{2}{f} \int_0^\infty \frac{(1 - e^{-u^2 t_D}) [J_0(u) Y_0(ur_D) - Y_0(u) J_0(ur_D)]}{u^2 [J_0^2(u) + Y_0^2(u)]} du \quad (9)$$

Apabila sumur diproduksi dengan laju konstan dan reservoir tertutup (tidak ada aliran dibatas reservoir)

syarat batas dalam pada sumur :

$$\lim_{r_w \rightarrow 0} r \frac{\partial p}{\partial r} = -\frac{141,2qB\bar{~}}{kh}$$

syarat batas luar reservoir:

$$\lim_{r \rightarrow r_{De}} r \frac{\partial p}{\partial r} = -141,2 \frac{qB\bar{~}}{kh} = 0$$

Syarat batas tersebut di transformasikan ke ruang laplace sebelum digunakan untuk mencari solusi khusus persamaan 6. Sehingga diperoleh solusi khusus sebagai berikut:

$$\hat{p} = \frac{K_1(r_{De}\sqrt{s})I_0(r_D\sqrt{s}) + I_1(r_{De}\sqrt{s})K_0(r_D\sqrt{s})}{s^{3/2}[I_1(r_{De}\sqrt{s})K_1(\sqrt{s}) - K_1(r_{De}\sqrt{s})I_1(\sqrt{s})]}$$

Menurut Matthews dan Russell (*Pressure Buildup and Flow Test in Wells, Society of Petroleum Engineers of AIME, 1967*)[3] sebagai berikut.

$$p_D = \frac{1}{r_{De}^2 - 1} \left( \frac{r_D^2}{4} + t_D \right) - \frac{r_{De}^2}{r_{De}^2 - 1} \ln r_D - \frac{3r_{De}^4 - 4r_{De}^4 \ln r_{De} - 2r_{De}^2 - r_{De}^2 - 1}{4(r_{De}^2 - 1)^2} \tag{10}$$

atau jika ditulis dalam satuan lapangan dan mengganti variabel tak berdimensi menjadi:

$$p(r_w, t) = p_i - 141,2 \frac{q-B}{kh} \left( \frac{2t_D}{r_{De}^2} + \ln r_{De} - \frac{3}{4} \right) - 141,2 \frac{q-B}{kh} \left( \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2e^{-r_n^2 t_D} J_1^2 \left( \frac{r_{De}}{r_n} \right)}{r_n^2 \left[ J_1^2 \left( \frac{r_{De}}{r_n} \right) - J_1^2 \left( r_n \right) \right]} \right) \tag{11}$$

Selanjutnya jika sumur diproduksi dengan laju konstan dan tekanan konstan pada batas reservoir syarat batas dalam pada sumur :

$$\lim_{r_w \rightarrow 0} r \frac{\partial p}{\partial r} = - \frac{141,2qB}{kh}$$

syarat batas luar reservoir:

$$p(r_e, t) = p_i$$

Syarat batas tersebut di transformasikan keruang laplace sebelum digunakan untuk mencari solusi khusus persamaan 6. Sehingga diperoleh solusi khusus sebagai berikut:

$$\hat{p} = \frac{I_0(r_{De}\sqrt{s})K_0(r_D\sqrt{s}) - K_0(r_{De}\sqrt{s})I_0(r_D\sqrt{s})}{s^{3/2}[K_0(r_{De}\sqrt{s})I_1(\sqrt{s}) + I_0(r_{De}\sqrt{s})K_1(\sqrt{s})]}$$

Menurut Matthews dan Russell (*Pressure Buildup and Flow Test in Wells, Society of Petroleum Engineers of AIME, 1967*) yang mengikuti Carslaw dan Jaeger (*Conduction of heat in solid, 1959*)[3], solusi untuk kasus ini adalah :

$$p(r_w, t) = p_i - 141,2 \frac{q-B}{kh} \ln r_{De} - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-s_n^2 t_D} J_0^2(r_{De} s_n)}{r_n^2 [J_1^2(s_n) - J_0^2(r_{De} s_n)]} \tag{12}$$

dan yang terakhir jika diasumsikan sumur diproduksi dengan tekanan konstan dan tekanan pada batas reservoir juga konstan syarat batas dalam pada sumur :

$$p(r = r_w, t) = p_w$$

syarat batas luar reservoir:

$$\lim_{r_e \rightarrow \infty} p(r_e, t) = p_i$$

Syarat batas tersebut di transformasikan keruang laplace sebelum digunakan untuk mencari solusi khusus persamaan 6. Sehingga diperoleh solusi khusus sebagai berikut:

$$\hat{p} = \frac{K_0(r_{De}\sqrt{s})I_0(r_D\sqrt{s}) - I_0(r_{De}\sqrt{s})K_0(r_D\sqrt{s})}{s[K_0(r_{De}\sqrt{s})I_0(\sqrt{s}) - K_0(\sqrt{s})I_0(r_{De}\sqrt{s})]}$$

Transformasi laplace dari solusi diatas tidak bisa diselesaikan secara manual. Namun Zimmerman (*Flow in Porous media, 2003-2004*) melakukan penurunan dengan cara yang berbeda mendapat kan solusi untuk kasus ini sebagai berikut :

$$p_D = - \frac{\ln(r_D / r_{De})}{\ln r_{De}} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{f U_n(s_n r_D) e^{-s_n^2 t_D} J_0(s_n) J_0(r_{De} s_n)}{J_0^2(s_n) - J_0^2(r_{De} s_n)} \tag{14}$$

dengan

$$U_n(s_n r_D) = Y_0(s_n) J_0(r_D s_n) - J_0(s_n) Y_0(r_D s_n)$$

Selanjutnya solusi persamaan difusi yang dikemukakan diatas dikoreksi dengan mengambil aproksimasi agar bisa digunakan untuk menggambarkan aliran saat proses uji alir dan uji tutup berlangsung. Aproksimasi ini berdasarkan pembagian waktu aliran pada saat gangguan tekanan diberikan. Pembagian dikelompokkan ke dalam tiga periode yaitu periode transient, periode pseudosteady state dan steady state.

Periode transient terjadi pada saat awal produksi ketika efek batas luar reservoir belum terasa di sumur sehingga reservoir berperilaku seperti halnya tidak ada batas (reservoir bersifat infinite-acting). Sehingga untuk keadaan ini digunakan persamaan 11 untuk menggambarkan keadaan aliran. Untuk harga argumen x yang kecil (yaitu  $x < 0.01$ ) maka  $Ei(x)$  dapat didekati oleh harga logaritmik [1] sehingga persamaan 15 dapat dituliskan menjadi:

$$p(r, t) = p_i - \frac{162,6q-B}{kh} \left[ \log \left( \frac{kt}{w-cr^2} \right) - 3,23 \right] \quad (15)$$

Pada periode pseudosteady-state terjadi ketika semua batas reservoir pada closed reservoir system sudah “terasa” yaitu gangguan akibat aktivitas produksi sudah sampai di batas reservoir. Kondisi pseudosteady state ini terkait dengan keadaan reservoir terbatas (finite-bounded) yang mempunyai kondisi tidak ada aliran (no-flow outer boundary condition) dan sumur memproduksi dengan laju alir konstan. Sehingga digunakan persamaan 11 untuk menggambarkan aliran. Untuk priode aliran pseudosteady-state terjadi pada masa produksi yang sudah lama (pada harga t yang besar) maka solusi pendekatan dan asumsi  $rDe \gg 1$  dan  $rD=1$  dapat dapat dutuliskan:

$$p_D(1, t_D) = \frac{2t_D}{r_{De}^2} + \ln r_{De} - \frac{3}{4}$$

atau jika ditulis dalam bentuk lain sebagai berikut:

$$p_{wf} = p_i - 141,2 \frac{q-B}{kh} \left[ \frac{0,000527kt}{w-c r_e^2} + \ln \frac{r_e}{r_w} - \frac{3}{4} \right] \quad (13)$$

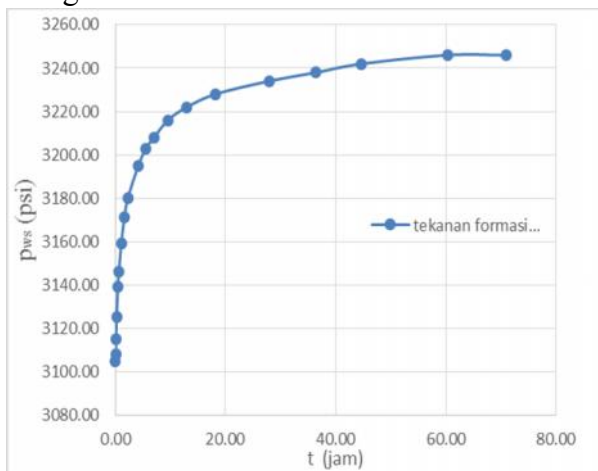
Steady-state terjadi pada selang waktu yang sangat besar atau lama (sumur sudah diproduksi dengan sangat lama) pada suatu sistem reservoir dengan kondisi batas luar reservoir berupa tekanan konstan atau dengan kata lain tidak ada perubahan tekanan terhadap waktu. Sehingga untuk mendapatkan solusi yang sesuai dengan keadaan diatas maka dalam kasus diambil syarat batas constant pressure outary boundary dan constant-rate production. Solusi untuk periode ini dapat diambil dari persamaan yang solusinya merupakan persamaan darcy dalam arah radial.

$$p_{wf} = p_i - 141,2 \frac{qB}{kh} \ln \frac{r_e}{r_w} \quad (16)$$

Untuk membuktikan bahwa persamaan-persamaan diatas bisa digunakan untuk memprediksi suatu aliran pada suatu reservoir maka diambil data produksi dan reservoir sumur X dari hasil simulasi menggunakan simulator CMG-IMAX[2].

| N  | Paramet er | Nilai    |         | Satuan  |
|----|------------|----------|---------|---------|
|    |            | Sumur1   | Sumur 2 |         |
| 0  |            |          |         |         |
| 1  | h          | 93       | 30      | ft      |
| 2  | $\mu$      | 1        | 1       | cp      |
| 3  | $\phi$     | 0,15     | 0,15    |         |
| 4  | q          | 800      | 800     | Stb/day |
|    |            |          | 1,25    | bbl/ST  |
| 5  | B          | 1,25     |         | B       |
| 6  | re         | 500      | 500     | ft      |
| 7  | rw         | 0,5      | 0,5     | ft      |
|    |            | 4150/309 | 3097    |         |
| 8  | pi/pwf     | 7        |         | psi     |
|    |            |          | 1,00E-  |         |
| 9  | c          | 1,00E-05 | 05      | 1/psi   |
| 10 | tp         | -        | 23      | hour    |

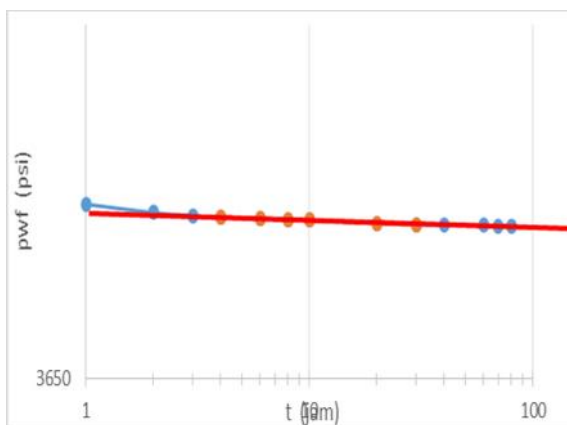
Setelah data itu dimasukkan ke persamaan sesuai dengan periode periode yang telah ditentukan diatas maka diperoleh grafik sebagai berikut:



**Gamba 2.** Hasil plot distribusi tekanan transient

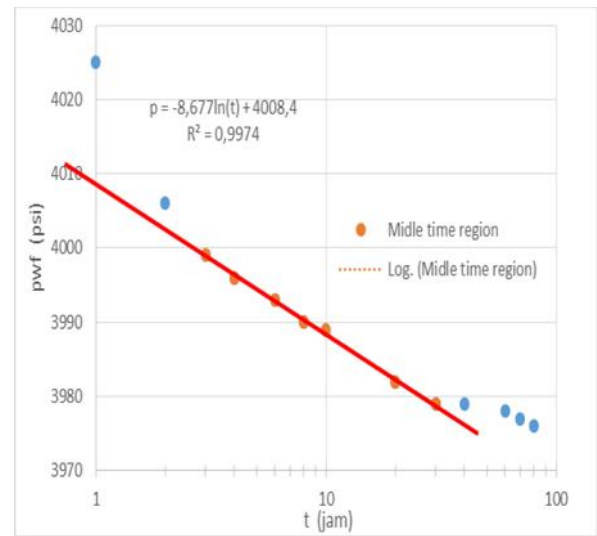
Dari grafik diatas terlihat bahwa saat sumur diproduksi dengan laju konstan maka terjadi penurunan tekanan. Hal ini analogi dengan keadaan suatu reservoir saat diawal mulai diproduksi dan penurunan tekanan dibatas reservoir belum terasa.

Untuk menghitung parameter reservoir maka dilakukan langkah-langkah seperti yang dijelaskan pada prosedur analisis data pada bab sebelumnya. Dalam analisis data uji alir pada sumur 1 ini terlebih dahulu dilakukan pembagian agar bisa dianalisis sesuai persamaan yang berlaku. Untuk mengetahui pembagian region ini dilakukan plot log-log antara p<sub>wf</sub> dan t yang hasilnya dapat dilihat sebagai berikut.



**Gamba 3.** Grafik log-log plot tekanan formasi sumur terhadap waktu

Dari grafik diatas maka dapat dilihat garis linier merah terjadi pada waktu pada  $3 < t < 30$ , sehingga waktu tersebut merupakan waktu MTR (Midle Time Region). Sedangkan untuk  $t < 4$  dan  $t > 20$  berturut-turut adalah ERT (Early Time Region) dan LTR (Late Time Region). Untuk memprediksi permeabilitas reservoir dilakukan plot semilog antara p<sub>wf</sub> dan t, maka diperoleh grafik seperti berikut.



**Gambar 4.** Grafik Semilog tekanan formasi sumur terhadap waktu.

Dari grafik tersebut terlihat bahwa penurunan tekanan di lubang sumur produksi menurun secara konstan selama rentang waktu tertentu. Hal tersebut bersesuaian dengan definisi *Pseudosteady state* artinya tekanan di setiap titik di reservoir menurun terhadap waktu dengan laju penurunan konstan.

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

$$p_{wf} = -8,677 \ln t + 4008,4$$

$$\Rightarrow p_{wf} = -19,98 \log t + 4008,4$$

$$m = \left| \frac{dp_{wf}}{d \log t} \right| = 19,98$$

Selanjutnya dicari permeabilitasnya sesuai persamaan:

$$k = \frac{162,6q \sim B}{mh} = \frac{162,6 \times 550 \times 3,3 \times 1,55}{19,98 \times 93} = 246,1 \text{ mD}$$

Dengan diketahui gradient maka melalui nilai faktor skin atau faktor formasi disekitar lubang sumur dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$s = 1,151 \left\{ \frac{P_i - P_{ijam}}{m} - \log \left( \frac{k}{w \sim cr_w^2} \right) + 3,23 \right\}$$

$$= 1,151 \left\{ \frac{4150 - 4008,4}{19,98} - \log \left( \frac{246,1}{0,34 \times 3,3 \times 10^{-5} \times 0,5^2} \right) + 3,23 \right\} = 2,75$$

$$\Delta p_s = 0,869ms = 0,869 \times 19,98 \times (2,75) = 47,75 \text{ psi}$$

**Tabel 1.** Pengelompokan solusi dan penerapan persamaan difusivitas pada reservoir

| Parameter Yang di Prediksi                            | Hasil modifikasi persamaan  |
|---|---|
| permeabilitas   | $k = \frac{162,6q \sim B}{mh}$  |
| Faktor kerusakan disekitar lubang sumur (skin faktor) | $s = 1,151 \left\{ \frac{P_i - P_{wf}}{m} - \log \left( \frac{kt}{w \sim cr_w^2} \right) - 3,23 \right\}$           |
| Tekanan rata-rata reservoir                           | $\bar{p} = p_{wf} + 141,2 \frac{q \sim B}{kh} \left[ \ln \left( \frac{r_e}{r_w} \right) - \frac{3}{4} + s \right]$  |
| Laju Produksi   | $q = \frac{k_j h (\bar{p} - p_{wf})}{141,2 \sim B \left[ \ln \left( \frac{r_e}{r_w} \right) - \frac{3}{4} \right]}$ |
| Productivity Index                                    | $PI = \frac{kh}{141,2 \sim B \left[ \frac{1}{2} \ln \left( \frac{4A}{\chi C_A r_w^2} \right) + s \right]}$          |
| Efisiensi aliran                                      | $FE = \frac{\bar{p} - p_{wf} - \Delta p_s}{\bar{p} - p_{wf}}$   |

Dalam analisis uji tutup (pressure drawdown test) di turunkan dengan prinsip superposisi (superposotion in time). Misalkan suatu sumur dialirkan dengan laju produksi konstan sebesar q. Pada waktu t = tp, sumur kedua yang berlokasi sama

Selanjutnya untuk pengujian memasuki periode pseudosteady-state dapat digunakan untuk memprediksi volume reservoir dengan mengamati bagian linier pada plot antara p<sub>wf</sub> dan t di bagian LTR (late time region). Dengan memodifikasi solusi untuk periode yang dijelaskan diatas dengan memasukan faktor kerusakan disekitar lubang sumur (skin faktor), dan faktor volume reservoir maka hasilnya dapat digunakan untuk menganalisa beberapa parameter reservoir dalam uji alir yang disajikan pada tabel 1 berikut ini.

dengan sumur pertama dialirkan dengan laju konstan sebesar -q (diinjeksikan) sementara sumur pertama dibiarkan tetap mengalir dengan laju alir q. waktu pengaliran sumur kedua dinyatakan Δt.

Ketika pengaruh kedua sumur dijumlahkan sebagai aplikasi dari superposisi, hasilnya adalah model yang menggambarkan sebuah sumur yang diproduksi pada laju  $q$  selama  $t_p$  dan kemudian ditutup selama  $\Delta t$ . Oleh karena itu, untuk menganalisis data pressure buildup test digunakan aproksimasi logaritmik persamaan 17 untuk masing-masing sumur sehingga diperoleh :

$$p_{ws} = p_i - 162,6 \frac{q-B}{kh} \log \left( \frac{t_p + \Delta t}{\Delta t} \right) \quad (17)$$

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

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

Dengan cara yang sama seperti pada analisis data hasil pressure drawdown test, untuk menentukan faktor skin dapat diperoleh:

$$s = 1,151 \left[ \left( \frac{p_{ws} - p_{wf}}{m} \right) + \log \left( \frac{1,696W-cr_w^2}{k\Delta t} \right) + \log \left( \frac{t_p + \Delta t}{t_p} \right) \right]$$

## KESIMPULAN

Dari pembahasan diatas maka dapat disimpulkan bahwa dari solusi persamaan difusi dapat digunakan untuk memeprediksi nilai parameter reservoir diantaranya permeabilitas, volume dari suatu reservoir dan tekanan rata-rata dan beberapa faktor produksi lain seperti productivity index dan efesiensi aliran .

## DAFTAR PUSTAKA

Abramowitz, M. & Stegun, I. A. (eds.) *Handbook of Mathematical Functions* Dover Publications, inc., NY, [1]

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[1]

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.

Hardiyanto. 2016. Penggunaa persamaan difusi aliran satu fase untuk pengukuran beberapa sifat fisik. Tesis. Institut Teknologi bandung. Bandung. [2]

Habte ,A. D. 2009. Pressure Analysis Of A Well With An Inclined Asymmetric Hydraulic Fracture. Thesis IN PETROLEUM ENGINEERING.Abuja-Nigeria

Horner, D. R. 1951. "Pressure Build-Up in Wells,"Proc., Third World . The Hague

John lee. *Well testing*. First Printing. New York, Macmillan (1982), [2]

Odeh, A.S.: "Pressure Drawdown Analysis, Variabel-Rate Case" Journal Of Petroleum Technology, vol 960. 08-1995[3]

Mattews, C.S. and Russell, D.G.*Pressure Buildup and Flow Tests in Wells SPE Monograph vol.1*, Henry L. Doherty series SPE of AIME, N.Y. 1967[4]

Ramey, H. J., Jr. 1970.: "Short-Time Well Test Data Interpretation in the Presence of Skin Effect and Wellbore Storage," J. Pet.