

**SOLUSI ANALITIK *TYPE CURVES* DAN UJI SENSITIVITAS
MODEL RESERVOIR KOMPOSIT DENGAN BATAS LUAR
RESERVOIR TERTUTUP UNTUK KASUS LAJU PRODUKSI
SUMUR KONSTAN**

*(Analytical Solution of Type Curves and Sensitivity Analysis of
Composite Reservoir Model with Bounded No Flow Outer Boundary for
Constant Rate Well)*

Wiwiek Jumiati¹⁾, dan Asep Kurnia Permadi²⁾

¹Institut Teknologi Sains Bandung
Jl. Ganesha Boulevard Lot-A1 CBD Kota Deltamas, Cikarang Pusat KM. 37, Bekasi
²Institut Teknologi Bandung (ITB)
Jl. Ganesha 10 Bandung

E-mail: wiwieceek@yahoo.com

Teregistrasi I tanggal 7 Februari 2019; Diterima setelah perbaikan tanggal 26 Maret 2019;
Disetujui terbit tanggal: 30 April 2019

ABSTRAK

Type curve penurunan tekanan alir dasar lubang sumur sebagai fungsi waktu untuk mengkaji efek penurunan produksi reservoir, merupakan salah satu metode analisis kinerja reservoir yang sudah luas dikenal dan digunakan dengan praktis untuk berbagai kondisi di lapangan. Penelitian ini mengangkat aspek laju produksi konstan pada sumur dan tekanan batas terluar *bounded no flow* atau tertutup dari reservoir terbatas yang akan dilihat pengaruhnya terhadap laju penurunan tekanan. Kenyataan menunjukkan bahwa laju produksi konstan di sumur dianggap lebih praktis dilakukan di lapangan. Ide awal ini berasal dari Turki dan Demski yang berhasil membuat *type curve* untuk model reservoir komposit pada kasus tekanan konstan di sumur. *Type curves* dibuat dari hasil penurunan secara analitis dari persamaan difusivitas untuk aliran fluida satu fasa untuk model reservoir komposit. Pada penelitian ini akan diperlihatkan bagaimana aplikasi dari *type curve* yang mewakili suatu model reservoir komposit dengan dua region dengan pengaruh parameter *mobility ratio*, *storativity ratio*, *skin* pada lubang sumur dan jari-jari *discontinuity*. *Type Curves* yang dihasilkan pada studi ini dapat digunakan untuk interpretasi log log *type curve* matching reservoir komposit dengan batas luar terbatas.

Kata Kunci: *type curve*, laju produksi konstan, *bounded no flow*, *mobility ratio*, *storativity ratio*, *skin*

ABSTRACT

The decline flow pressure time function type curve which is to examine the effect of reservoir production diminishing is one of the reservoir performance analysis method that broadly well-known and practically used for any field conditions. This research points out the effects of constant production rate of well with bounded no flow outer boundary condition. In fact, constant production rate of well is more applicable to do in field. The original idea comes from Turki and Demski who successfully made a type of curves for model composite reservoir; constant wellbore pressure. The typecurve is explained analytically from diffusivity equation for single phase flow rate fluid. In this thesis presents the parametric of a constant wellbore rate in the centre of a two regions composite reservoir; the effects of mobility ratio, storativity ratio, wellbore skin and the discontinuity distance are described. Typecurves for the dimensionless wellbore pressure in bounded no flow boundary condition are provided. These type curves are to be used for log-log type curve matching.

Keywords: *typecurve, constant rate well, infinite acting, bounded no flow, mobility ratio, storativity ratio, skin*

I. PENDAHULUAN

Banyak metode yang sudah dipublikasikan untuk melakukan analisis dan evaluasi kinerja sumur dan minyak dengan tujuan mengukur tingkat kapasitas produksi dan melakukan prediksi atau peramalan (*forecast*) kinerja sumur di waktu yang akan datang. Metoda yang biasa digunakan sebelumnya adalah metoda empirik, metoda analitik, dan metoda numerik atau kombinasi dari ketiganya. Misalnya Fetkovich⁽³⁾ mempublikasikan log-log *type curves* berdasarkan kombinasi solusi analitik dari persamaan difusivitas dan empirik.

Metode analisis *type curve* yang dibahas dipresentasikan melalui kurva-kurva yang dihasilkan dari penurunan matematis sebagai solusi analitik dari persamaan difusivitas. Metode ini kemudian umum dikenal sebagai *Decline type curve*, dan sejak tahun 1945 sudah menjadi kajian para ahli.

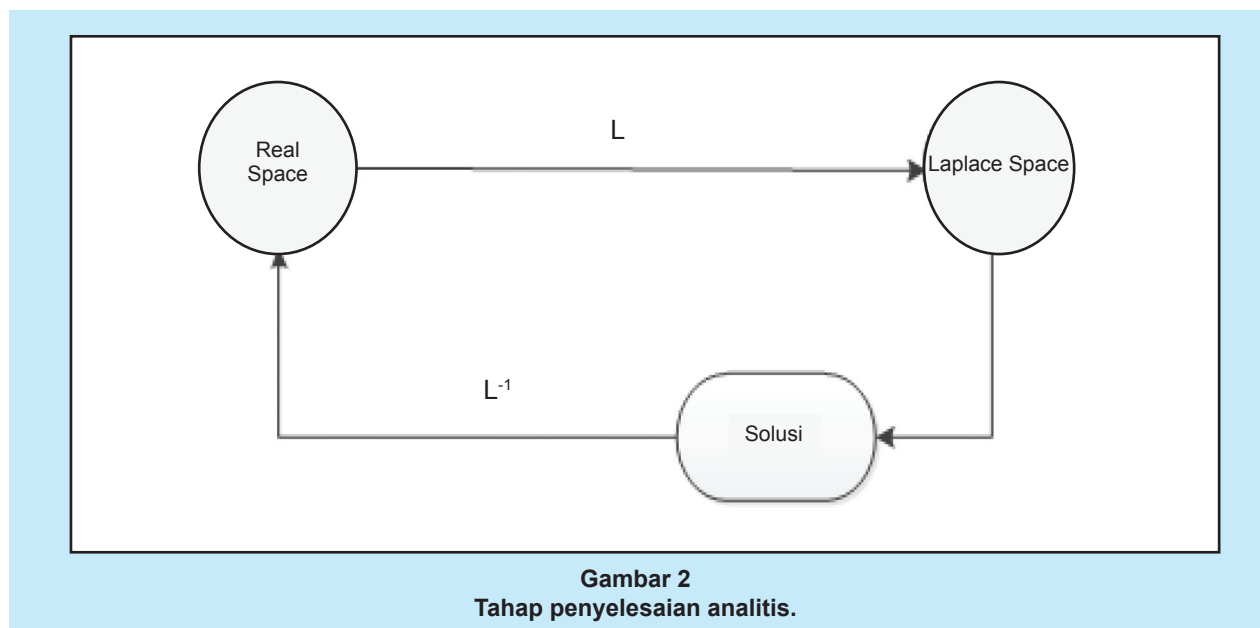
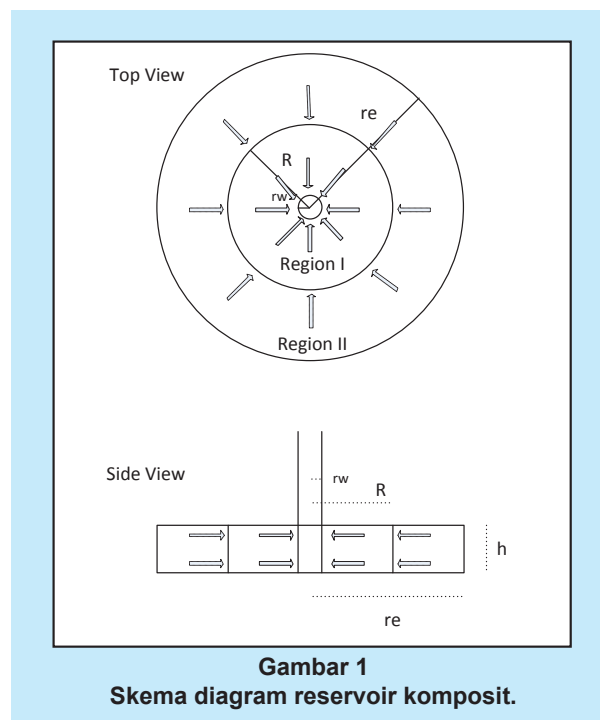
Salah satu kasus yang diangkat dalam penelitian ini adalah pengembangan *type curve* oleh Turki et al. dan Demski, dibentuk berdasarkan model *bounded no flow* reservoir komposit dengan geometri circular yang diproduksi dengan laju alir konstan. Adapun hasil yang ditunjukkan pada riset ini menyatakan bahwa pengembangan *type curves* yang diimplementasikan berdasarkan solusi analitik difusivitas untuk model reservoir komposit *single-phase radial flow* dapat dipergunakan untuk menginterpretasikan data performa produksi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan solusi analitik dan membuat *type curves* dari solusi tersebut dengan model reservoir komposit dua region dengan suatu konstrain

produksi laju alir konstan dan batas reservoir tertutup (*bounded no flow*).

II. BAHAN DAN METODE

Model fisik yang digunakan adalah reservoir komposit dengan geometri tertutup (*bounded no flow*) circular dengan dua region lingkaran dengan satu sumur minyak ditengahnya aliran radial yang akan berproduksi pada laju produksi konstan. Dengan menurunkan solusi analitik untuk kondisi sumur tersebut akan didapatkan tekanan tak berdimensi dalam ruang laplace di $rD=1$ (untuk setiap masukan tD , R dan reD yang berbeda. Hasil

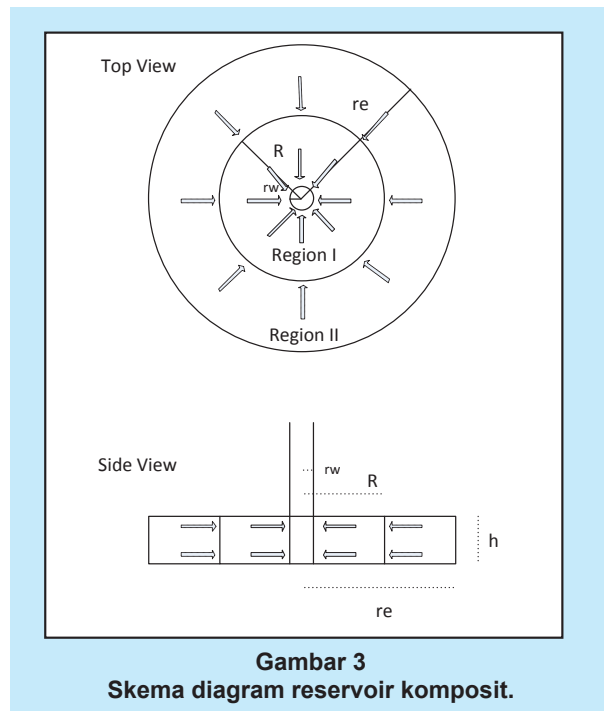


tersebut merupakan keluaran untuk kasus sumur yang memproduksi pada laju produksi konstan.

Dengan menggunakan solusi yang telah dikembangkan Turki et al. dan Demski akan didapatkan laju alir tak berdimensi dalam ruang laplace pada $rD=1$ untuk setiap masukan tD , R dan reD yang berbeda. Hasil tersebut merupakan keluaran untuk kasus sumur yang memproduksi pada tekanan konstan. Tahap ini dilakukan untuk uji validasi untuk memastikan bahwa *tool* yang digunakan dalam perhitungan benar dan dapat digunakan dalam penelitian ini. Tahap penyelesaian analitis disajikan pada Gambar 2.

III. HASIL DAN DISKUSI

Penurunan persamaan diperoleh sbb:



Untuk daerah I:

$$\frac{\partial^2 p_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial p_1}{\partial r} = \left[\frac{\phi \mu c t}{k_1} \right], \quad rw < r < R \quad (1)$$

Untuk daerah II:

$$\frac{\partial^2 p_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial p_2}{\partial r} = \left[\frac{\phi \mu c t}{k_2} \right], \quad R < r < re \quad (2)$$

Dengan R adalah batas yang memisahkan daerah I dan II.

Kondisi awal dan kondisi batas yang berlaku untuk daerah I dan II adalah sebagai berikut:

$$p_1(r, 0) = p_i \quad rw < r < R \quad (3)$$

$$p_2(r, 0) = p_i \quad R < r < re$$

$$p_1(rw, t) = p_w \quad (4)$$

Dan pada daerah pemisah antara daerah I dan II berlaku:

$$p_1(R, t) = p_2(R, t) \quad (5)$$

$$\frac{\partial p_2}{\partial r} = \lambda \frac{\partial p_1}{\partial r} \quad (6)$$

Dengan λ adalah rasio mobilitas (*mobility ratio*)

Untuk reservoir dengan batas terluarnya tertutup (*closed outer boundary*), berlaku kondisi:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = 0, \quad r=re, \quad (7)$$

Untuk mendapatkan solusi analitik persamaan difusivitas, terlebih dahulu persamaan tersebut ditransformasikan ke dalam persamaan dalam bentuk tak berdimensi (*dimensionless variable*) dengan tujuan untuk menghilangkan dimensi-dimensi yang ada pada persamaan tersebut. Variabel tak berdimensi didefinisikan berdasarkan keadaan produksi di sumur yaitu kasus *constant rate production* dimana sumur diproduksi dengan laju produksi konstan. Jika variabel-variabel tak berdimensi didefinisikan dengan:

$$pD = \frac{p_i - p}{p_i - p_w} \quad (8)$$

Dalam Field Unit

$$pD = \frac{k_1 h (p_i - p)}{141.2 \mu q B}$$

$$tD = tD_1 = \left(\frac{k_1}{\phi \mu c t r w^2} \right) t \quad (9)$$

Dalam Field Unit:

$$tD = tD_1 = \left(\frac{0.00634 k_1}{\phi \mu c t r w^2} \right) t$$

$$rD = \frac{r}{r_w} \quad (10)$$

$$R_D = \frac{R}{r_w} \quad (11)$$

$$\lambda = \frac{\left[\frac{k}{\mu} \right]_1}{\left[\frac{k}{\mu} \right]_2} \quad (12)$$

$$\eta = \frac{\left[\frac{k}{\phi \mu c_t} \right]_1}{\left[\frac{k}{\phi \mu c_t} \right]_2} = \lambda \frac{[\phi c_t]_2}{[\phi c_t]_1} \quad (13)$$

$$\eta = \lambda \omega \quad (14)$$

Variabel tak berdimensi untuk persamaan (1) sampai dengan (7) adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial^2 p_{D1}}{\partial r_D^2} + \frac{1}{r_D} \frac{\partial p_{D1}}{\partial r_D} = \frac{\partial p_{D1}}{\partial r_D}, \quad 1 < r_D < R_D \quad (15)$$

$$\frac{\partial^2 p_{D2}}{\partial r_D^2} + \frac{1}{r_D} \frac{\partial p_{D2}}{\partial r_D} = \frac{\partial p_{D2}}{\partial r_D}, \quad R_D < r_D < r_e \quad (16)$$

Variabel tak berdimensi untuk nilai *boundary*

Initial condition:

$$p_{D1}(r_D, t_D) = 0, \quad 1 < r_D < R_D \quad (17)$$

$$p_{D2}(r_D, t_D) = 0, \quad R_D < r_D < r_e \quad (18)$$

Iner Boundary Condition (constant flow rate):

$$\left(r_D \frac{\partial p_D}{\partial r_D} \right) = -1 \quad (19)$$

Adanya faktor *skin*:

$$P_{wD} = \left[PD(t_D) - S \left(\frac{\partial p_D}{\partial r_D} \right) \right], \quad r_D = 1 \quad (20)$$

Outer Boundary Condition (infinite acting reservoir):

$$\frac{\partial p_D}{\partial r_D} = 0, \quad r_D = r_e D \quad (21)$$

Boundary antara Daerah I dan II berlaku:

$$p_{D1}(R_D, s) = p_{D2}(R_D, s) \quad (22)$$

$$\frac{\partial p_{D2}}{\partial r_D} = \lambda \frac{\partial p_{D1}}{\partial r_D}, \quad r_D = R_D \text{ dan } t_D > 0 \quad (23)$$

Hasil Aplikasi Transformasi Laplace dari persamaan (15) sampai (23):

$$\frac{d^2 \dot{p}_{D1}}{dr_D^2} + \frac{1}{r_D} \frac{d \dot{p}_{D1}}{dr_D} = s \dot{p}_{D1} \quad (24)$$

$$\frac{d^2 \dot{p}_{D2}}{dr_D^2} + \frac{1}{r_D} \frac{d \dot{p}_{D2}}{dr_D} = \eta s \dot{p}_{D2} \quad (25)$$

$$\frac{d \dot{p}_{D1}}{dr_D} = -\frac{1}{s}, \quad r_D = 1 \quad (26)$$

$$\dot{p}_{wD} = \left(\dot{p}_{D1} - S \frac{d \dot{p}_{D1}}{dr_D} \right), \quad r_D = 1 \quad (27)$$

$$\frac{d \dot{p}_{D2}}{dr_D} = 0, \quad r_D = r_e D \quad (28)$$

$$\dot{p}_{D1}(R_D, s) = \dot{p}_{D2}(R_D, s) \quad (29)$$

$$\frac{d \dot{p}_{D2}}{dr_D} = \lambda \frac{d \dot{p}_{D1}}{dr_D}, \quad r_D = R_D \text{ dan } t_D > 0 \quad (30)$$

Solusi Umum persamaan difusivitas (24) dan (25)

$$\dot{p}_{D1}(r_D, s) = C_{11} I_0(r_D \sqrt{s}) + C_{12} K_0(r_D \sqrt{s}), \quad 1 < r_D < R_D \quad (31)$$

$$\dot{p}_{D2}(r_D, s) = C_{21} I_0(r_D \sqrt{\eta s}) + C_{22} K_0(r_D \sqrt{\eta s}), \quad R_D < r_D < \infty \quad (32)$$

Turunan pertama solusi persamaan (31) dan (32)

$$\frac{d \dot{p}_{D1}}{dr_D}(r_D, s) = C_{11} \sqrt{s} I_1(r_D \sqrt{s}) - C_{12} \sqrt{s} K_1(r_D \sqrt{s}), \quad 1 < r_D < R_D \quad (35)$$

$$\frac{d \dot{p}_{D2}}{dr_D}(r_D, s) = C_{21} \sqrt{\eta s} I_1(r_D \sqrt{\eta s}) - C_{22} \sqrt{\eta s} K_1(r_D \sqrt{\eta s}), \quad R_D < r_D < \infty \quad (36)$$

Substitusi persamaan (31) ke kondisi batas persamaan (26):

Persamaan Differensial hasil penurunan analitik sebagai berikut:

$$C_{11}\sqrt{s}I_1(\sqrt{s}) - C_{12}\sqrt{s}K_1(\sqrt{s}) = -\frac{1}{s}$$

$$C_{12} = \frac{C_{11}\sqrt{s}I_1(\sqrt{s})+1}{s\sqrt{s}K_1(\sqrt{s})} \quad (37)$$

Substitusi persamaan (31), (35) dan (37) ke kondisi batas persamaan (27) sehingga:

$$\dot{p}_{wD} = \left(C_{11}I_0(\sqrt{s}) + \frac{I_1(\sqrt{s})K_0(\sqrt{s})}{K_1(\sqrt{s})} \right) + \frac{K_0(\sqrt{s})}{s\sqrt{s}K_1(\sqrt{s})} + \frac{s}{s} \quad rD=1 \quad (38)$$

Substitusi (36), (37) ke kondisi batas persamaan (28)

$$C_{21} = \left(\frac{K_1(reD\sqrt{\eta s})}{I_1(reD\sqrt{\eta s})} \right) C_{22} \quad (39)$$

Substitusi (31), (32), (37) ke kondisi batas persamaan (29)

$$C_{22} = \frac{\left[\left(C_{11}I_0(RD\sqrt{\eta s}) + \frac{C_{11}K_0(RD\sqrt{\eta s})I_1(\sqrt{s})}{K_1(\sqrt{s})} \right) + \left(\frac{K_0(RD\sqrt{\eta s})}{(S\sqrt{s}K_1(\sqrt{s}))} \right) \right]}{\left(\frac{I_0(reD\sqrt{\eta s})K_1(reD\sqrt{\eta s})}{I_1(reD\sqrt{\eta s})} \right) + (K_0(reD\sqrt{\eta s}))} \quad (40)$$

Substitusi persamaan (35), (36), (37) dan (40) ke kondisi batas (30)

$$\lambda[C_{11}I_1(RD\sqrt{s}) - C_{12}K_1(RD\sqrt{s})] = -\sqrt{\eta}C_{22}K_1(RD\sqrt{\eta s})$$

$$C_{11} = \frac{\left[\left(\frac{\lambda K_1(RD\sqrt{s})}{s\sqrt{s}K_1(\sqrt{s})} \right) + \left(\frac{K_0(RD\sqrt{s})}{(S\sqrt{s}K_1(\sqrt{s}))} \right) B \right] - \left(\frac{K_0(RD\sqrt{s})}{(S\sqrt{s}K_1(\sqrt{s}))} \right) A}{\left[(\lambda I_1(RD\sqrt{s})) - \left(\frac{\lambda K_1(RD\sqrt{s})I_1(\sqrt{s})}{K_1(\sqrt{s})} \right) - (I_0(RD\sqrt{s})B) - \left(\frac{K_0(RD\sqrt{s})I_1(\sqrt{s})}{K_1(\sqrt{s})} \right) B \right] + (I_0(RD\sqrt{s})A) + \left(\frac{K_0(RD\sqrt{s})I_1(\sqrt{s})}{K_1(\sqrt{s})} \right) A} \quad (41)$$

$$A = \frac{\sqrt{\eta}K_1(RD\sqrt{\eta s})I_1(reD\sqrt{\eta s})}{(I_0(RD\sqrt{\eta s})K_1(reD\sqrt{\eta s})) + (K_0(RD\sqrt{\eta s})I_1(reD\sqrt{\eta s}))} \quad (42)$$

$$B = \frac{\sqrt{\eta}K_1(reD\sqrt{\eta s})I_1(RD\sqrt{\eta s})}{(I_0(RD\sqrt{\eta s})K_1(reD\sqrt{\eta s})) + (K_0(RD\sqrt{\eta s})I_1(reD\sqrt{\eta s}))} \quad (43)$$

$$\dot{p}_{wD} = \left(C_{11}I_0(rD\sqrt{s}) + \frac{I_1(\sqrt{s})K_0(\sqrt{s})}{K_1(\sqrt{s})} \right) + \frac{K_0(\sqrt{s})}{s\sqrt{s}K_1(\sqrt{s})} + \frac{s}{s}$$

$$\dot{p}_{D1}(rD, s) = C_{11}I_0(rD\sqrt{s}) + C_{12}K_0(rD\sqrt{s}), \quad 1 < rD < RD$$

$$\dot{p}_{D2}(rD, s) = C_{21}I_0(rD\sqrt{\eta s}) + C_{22}K_0(rD\sqrt{\eta s}), \quad RD < rD < \infty$$

dengan:

$$C_{11} = \frac{a}{b-c+d}$$

$$a = \left(\frac{\lambda K_1(RD\sqrt{s})}{s\sqrt{s}K_1(\sqrt{s})} - \frac{\sqrt{\eta}K_0(RD\sqrt{s})K_1(RD\sqrt{\eta s})}{s\sqrt{s}K_0(RD\sqrt{\eta s})K_1(\sqrt{s})} \right)$$

$$b = (\lambda I_1(RD\sqrt{s}))$$

$$c = \left(\frac{(\lambda K_1(RD\sqrt{s})I_1(\sqrt{s}))}{K_1(\sqrt{s})} \right)$$

$$d = \left(\frac{\sqrt{\eta}K_1(RD\sqrt{\eta s})}{K_0(RD\sqrt{\eta s})} \left(I_0(RD\sqrt{s}) + \left(\frac{K_0(RD\sqrt{s})I_1(\sqrt{s})}{K_1(\sqrt{s})} \right) \right) \right)$$

$$C_{12} = \frac{C_{11}\sqrt{s}I_1(\sqrt{s})+1}{s\sqrt{s}K_1(\sqrt{s})}$$

$$C_{12} = 0$$

$$C_{22} = \frac{C_{11}}{K_0(RD\sqrt{\eta s})} \left(I_0(RD\sqrt{\eta s}) + \frac{K_0(RD\sqrt{s})I_1(\sqrt{s})}{K_1(\sqrt{s})} \right) + \left(\frac{K_0(RD\sqrt{s})}{K_0(RD\sqrt{\eta s})(S\sqrt{s}K_1(\sqrt{s}))} \right)$$

$$e = \frac{e}{[f-g-h-i+j+k]}$$

$$e = \left[\left(\frac{\lambda K_1(RD\sqrt{s})}{s\sqrt{s}K_1(\sqrt{s})} \right) + \left(\frac{K_0(RD\sqrt{s})}{(S\sqrt{s}K_1(\sqrt{s}))} \right) B \right] - \left(\frac{K_0(RD\sqrt{s})}{(S\sqrt{s}K_1(\sqrt{s}))} \right) A$$

$$f = (\lambda I_1(RD\sqrt{s}))$$

$$g = \left(\frac{(\lambda K_1(RD\sqrt{s})I_1(\sqrt{s}))}{K_1(\sqrt{s})} \right)$$

$$h = (I_0(RD\sqrt{s})B)$$

$$i = \left(\frac{K_0(RD\sqrt{s})I_1(\sqrt{s})}{K_1(\sqrt{s})} \right) B$$

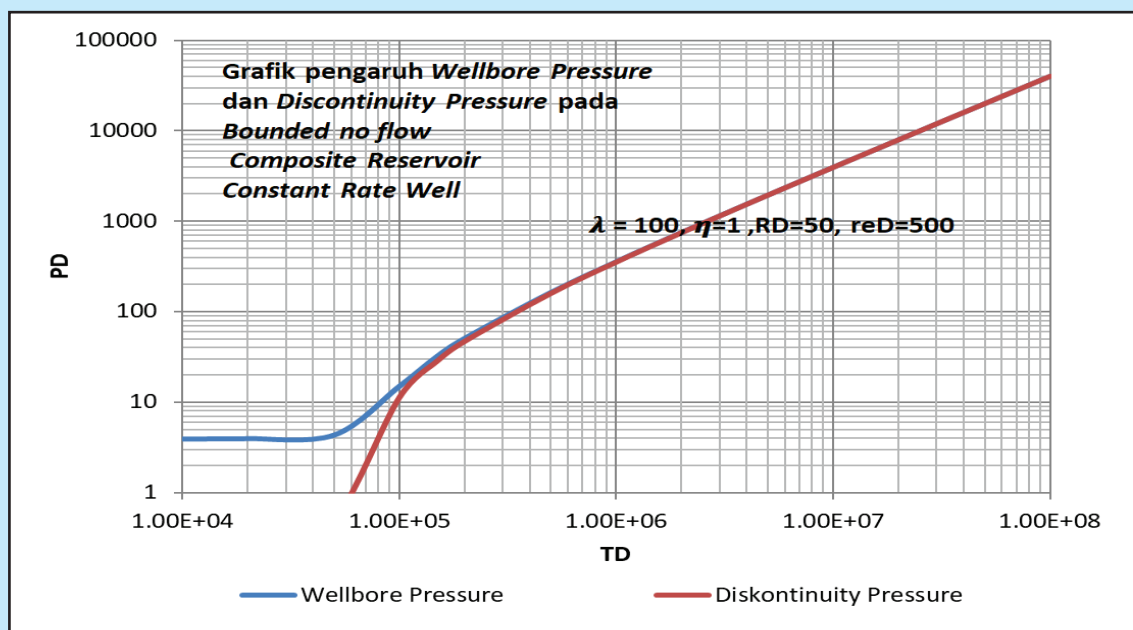
Dimana:

- B = Faktor volume formasi, RB/STB
- c_t = Kompresibilitas total, LT²/M
- h = Tebal formasi, L
- I0 = *Modified* fungsi Bessel, Jenis pertama, orde nol
- I1 = *Modified* fungsi Bessel, Jenis pertama, orde pertama
- K0 = *Modified* fungsi Bessel, Jenis kedua, orde nol
- K1 = *Modified* fungsi Bessel, Jenis kedua, orde pertama
- k = Permeabilitas, mD
- k_{row} = Permeabilitas relatif batuan terhadap minyak
- k_{rw} = Permeabilitas relatif batuan terhadap air
- P = Tekanan, M/LT²
- \dot{p} = Tranformasi *laplace* dari tekanan
- $PD = \frac{kh\Delta P(t)}{141.2\mu qB}$ Tekanan tak berdimensi untuk kasus laju alir konstan dalam field unit
- Pi = Tekanan awal, M/LT²
- p_{wf} = Tekanan alir dasar sumur, M/LT²
- r = Radius, L
- rD = Jari-jari tak berdimensi
- R = Jari-jari *discontinuity*, radius di batas antara daerah I dan II, L
- RD = Jari-jari *discontinuity* tak berdimensi
- re = Jari-jari pengurasan, L
- reD = Jari-jari pengurasan, tak berdimensi
- rw = Jari-jari sumur, L
- s = Variable *laplace*
- S = Faktor *skin*
- t = waktu, t
- $tD = \frac{0.00634kt}{\phi\mu C_t r_w^2}$ Waktu tak berdimensi dalam field unit
- q = Laju alir produksi minyak, STB/T
- μ = Viskositas, M/LT
- ϕ = Porositas, fraksi
- λ = mobility ratio region I dan II
- η = Difusivity ratio dari region I dengan region II
- ω = Storativity ratio dari region II dengan region I

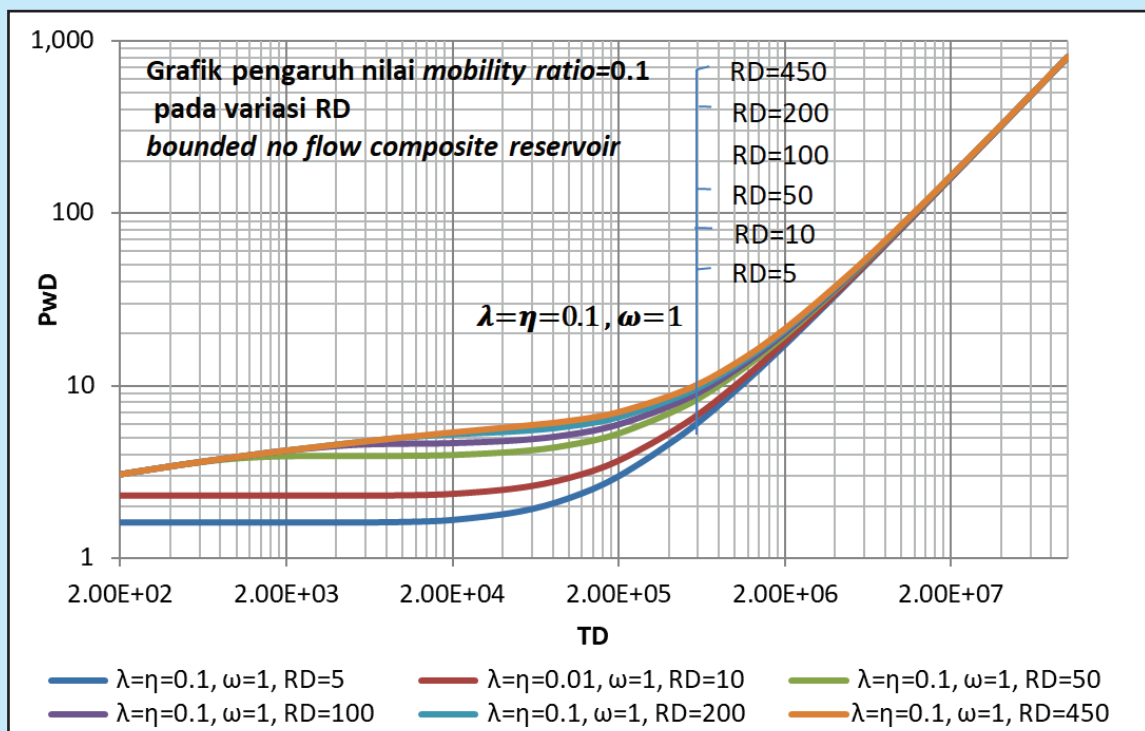
Dari Persamaan tersebut diberikan pengaruh parameter yang meliputi tekanan di sumur (*wellbore pressure*) dan tekanan di jari-jari *discontinuity*, pengaruh tekanan terhadap perubahan rasio mobilitas (*mobility ratio*), pengaruh perubahan tekanan terhadap variasi perubahan *storativity ratio* serta pengaruh perubahan tekanan terhadap variasi *skin*. Berikut ini adalah *types curves* yang terbentuk.

Gambar 3 mempresentasikan respon tekanan di lubang sumur dan jari-jari *discontinuity* yang diproduksi pada laju alir sumur konstan pada batas luar *bounded no flow*. Grafik respon tekanan lubang sumur dan tekanan di jari-jari *discontinuity* dikondisikan pada jari-jari *discontinuity* 50 dan *mobility ratio* region dalam 100 kali lebih besar dari region luarnya. Kurva berwarna biru merupakan respon tekanan pada lubang sumur yang dikondisikan laju alir sumur konstan dan tekanan *dimensionless* naik yang menunjukkan respon tekanan di sumur terhadap reservoir menurun. Kurva berwarna merah respon tekanan di jari-jari *discontinuity*. Tekanan awalnya adalah nol dan bertambah seiring waktu sebagai pertanda bahwa fluida dari region luar masuk ke region dalam. Dimana pada akhirnya tekanan di lubang sumur sama dengan tekanan di jari-jari *discontinuity* dengan perubahan *pressure drop* yang besar.

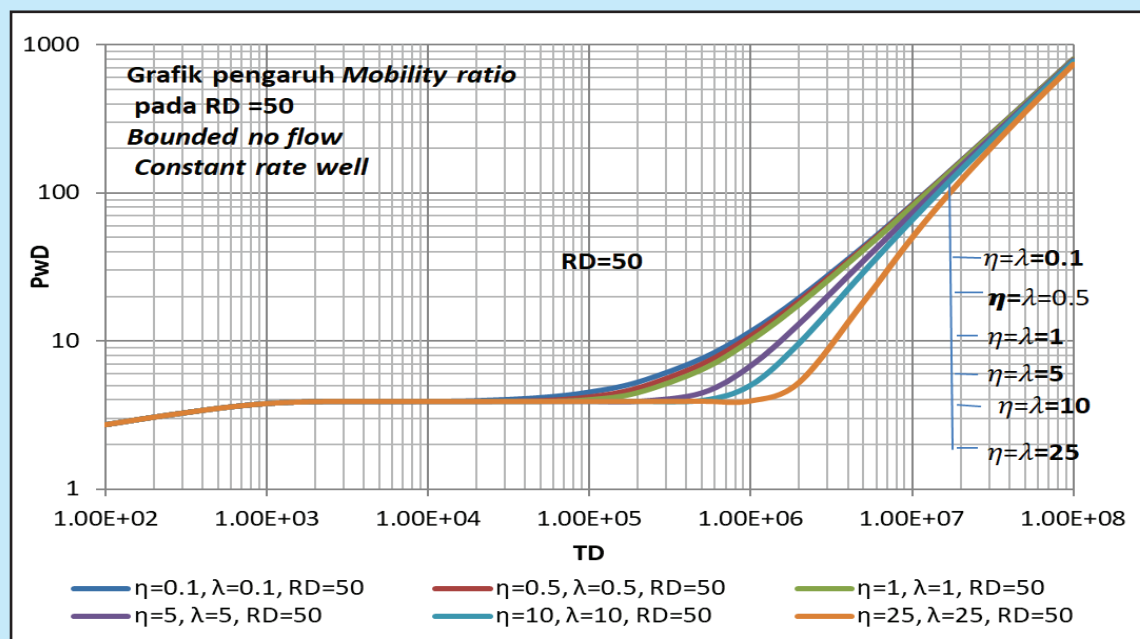
Pengaruh perubahan tekanan terhadap variasi jari-jari *discontinuity* dan *mobility ratio* dihasilkan pada Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7, *mobility ratio* 0.1 (lebih kecil dari 1) berdasarkan



Gambar 3
Grafik wellbore pressure dan discontinuity pressure pada bounded no flow reservoir komposit.



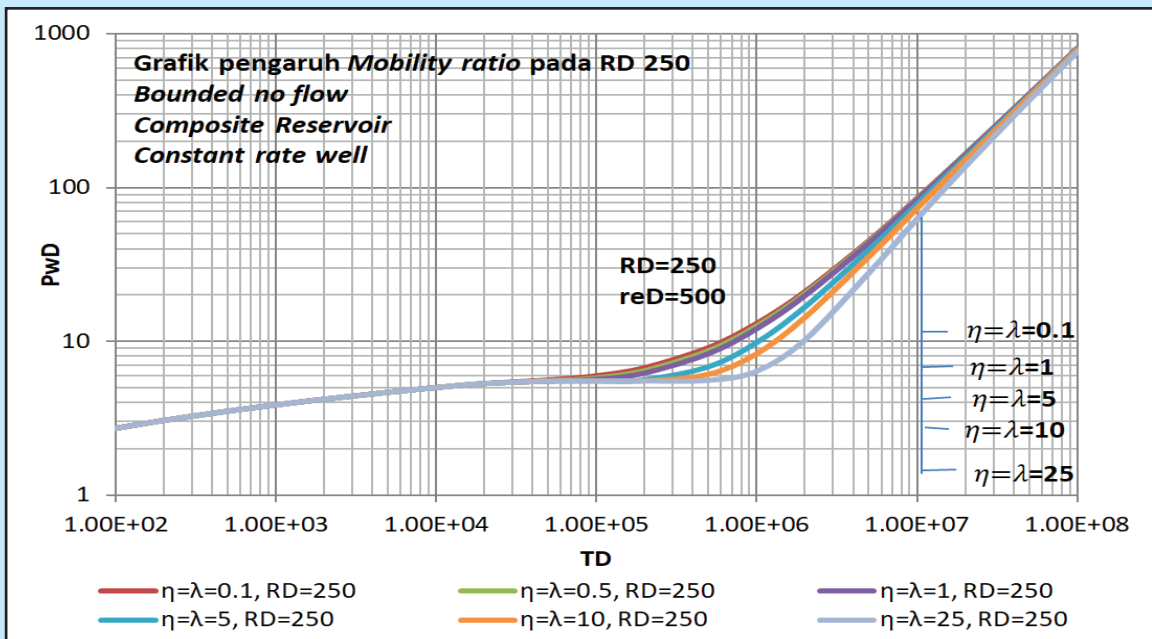
Gambar 4
 Grafik pengaruh nilai *mobility ratio*=10 pada variasi RD=5,10,50,100,200,450 reD=500 *bounded no flow reservoir komposit constant rate well*.



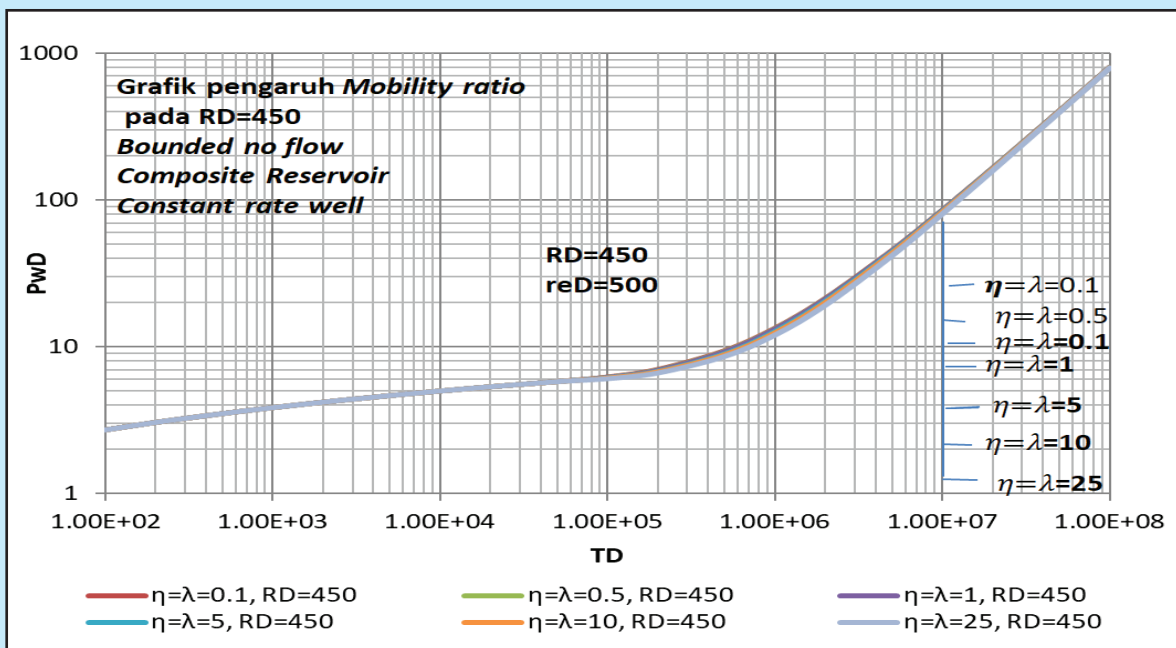
Gambar 5
 Grafik pengaruh variasi nilai *mobility ratio*=0.1,0.5,1,5,10,25 pada RD=50, reD=500 *bounded no flow reservoir komposit constant rate well*.

permeabilitas per viskositas fluida region luar lebih besar 10 kali pada Gambar 4. Gambar 5 menggambarkan *mobility ratio* 10 (lebih besar dari 1) pada permeabilitas per viskositas region

luar sepersepuluh lebih kecil dari region dalam, penurunan tekanan yang terjadi diantara keduanya tidak berbeda jauh. *pressure drop* sedikit lebih besar terjadi pada *mobility ratio* yang lebih kecil



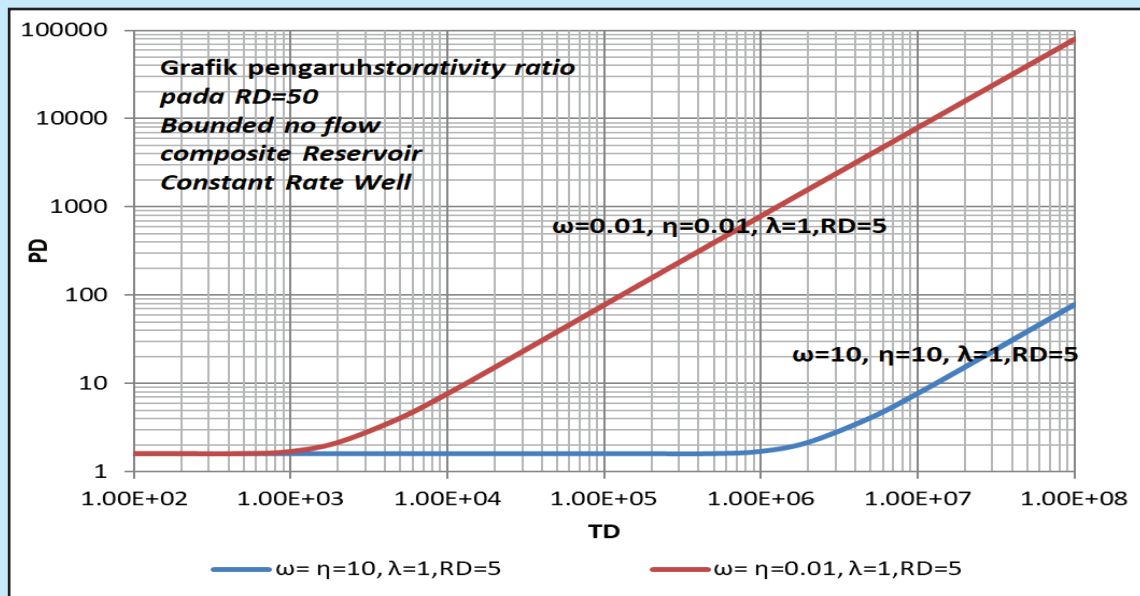
Gambar 6
 Grafik pengaruh variasi nilai mobility ratio=0.1,1,5,10,25 pada RD=250, reD=500 bounded no flow reservoir komposit constant rate well.



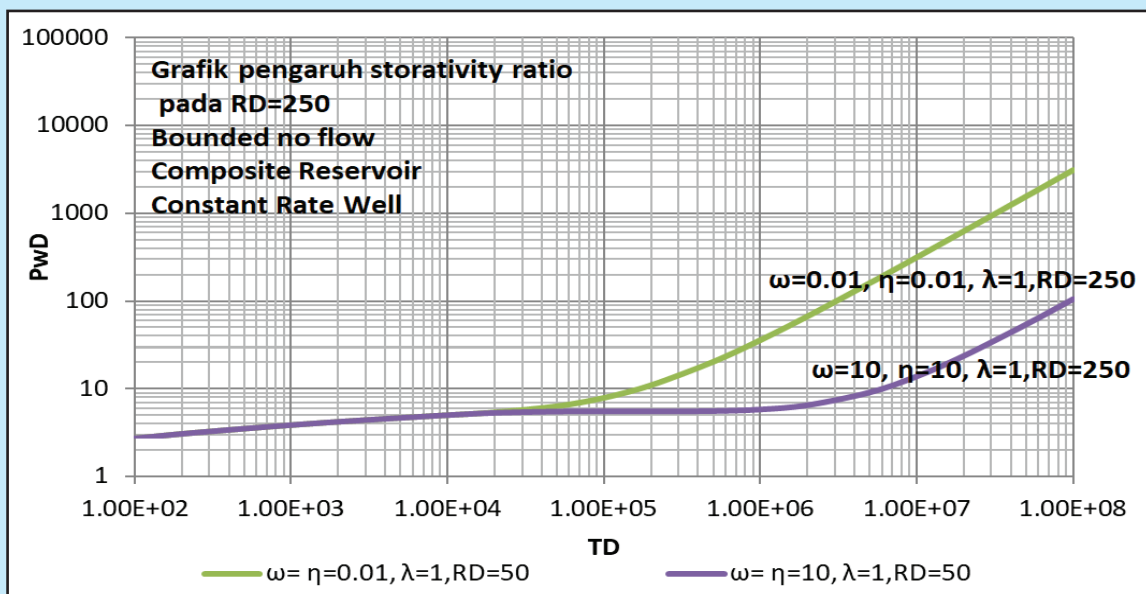
Gambar 7
 Grafik pengaruh variasi nilai mobility ratio=0.1,1,5,10,25 pada RD=450, reD=500 bounded no flow reservoir komposit constant rate well.

dari 1. Pengaruh dari jari-jari *discontinuity* untuk mobility yang lebih kecil dari 1 dan lebih besar dari 1 memiliki kecenderungan yang sama yaitu pada awal waktu jarak jari-jari *discontinuity* yang paling dekat jaraknya dengan sumur pengaruhnya lebih

awal terjadi namun *pressure drop* yang lebih besar yang ditandai dengan tekanan *dimensionless* yang besar. Namun pada waktu tertentu pengaruh jarak *discontinuity* tidak terlihat lagi karena semua garis jari-jari *discontinuity* membentuk satu garis ketika



Gambar 8
 Grafik pengaruh storativity pada RD=5 dan reD=500 dengan variasi nilai storativity ratio=0.01 dan 10 bounded no flow reservoir komposit constant rate well.

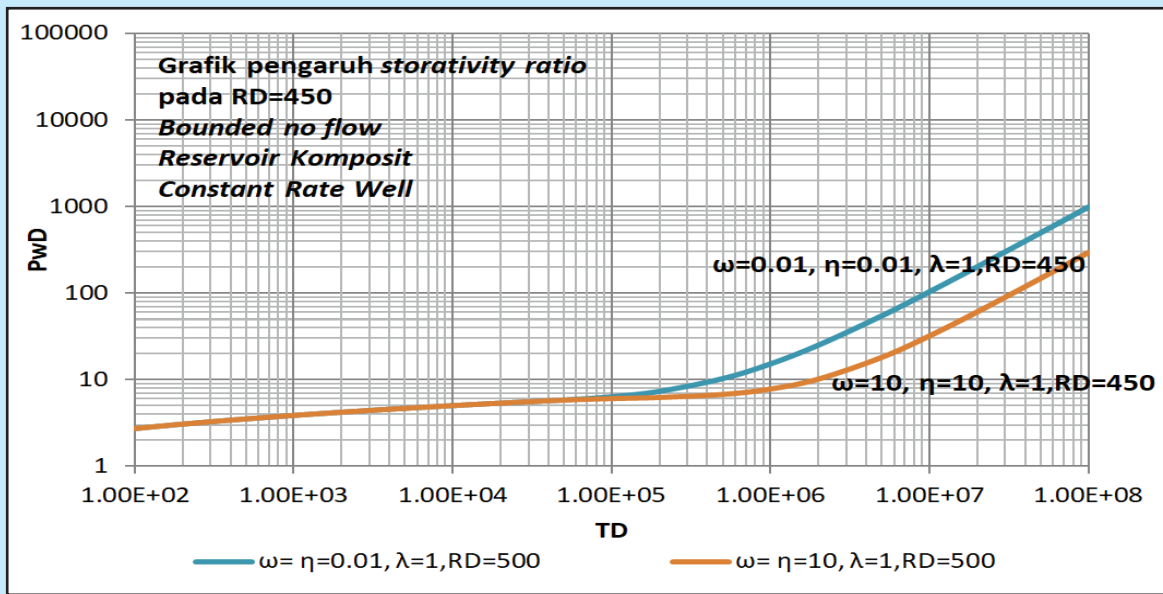


Gambar 9
 Grafik pengaruh storativity pada RD=250 dan reD=500 dengan variasi nilai storativity ratio=0.01 dan 10 bounded no flow reservoir komposit constant rate well.

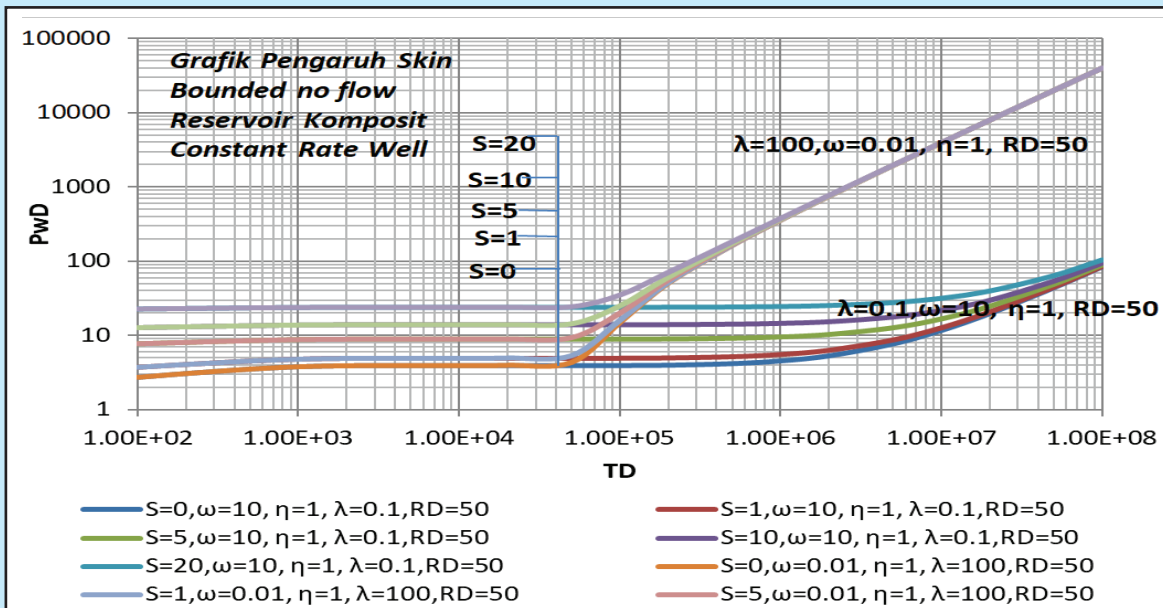
sudah mendekati *boundary* reservoir. Berdasarkan Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 dapat kita ketahui bahwa semakin besar *mobility ratio* yang berarti permeabilitas dibagi viskositas region dalam lebih besar dari region luar yang pada awal diproduksi sama namun setelah efek jari-jari *discontinuity* terlihat *pressure drop* yang terjadi semakin kecil sampai dengan waktu tertentu. Setelah mendekati

boundary reservoir pengaruh jari-jari *discontinuity* hampir tidak terlihat dan penurunan tekanan sama dengan berbagai *mobility ratio* tersebut. Pengaruh jari-jari *discontinuity* terlihat lebih awal terjadi untuk jarak jari-jari *discontinuity* yang lebih jauh pada suatu waktu dan lebih awal tidak terlihatnya juga.

Pengaruh variasi *storativity ratio* dan jari-jari *discontinuity* terhadap perubahan tekanan terlihat



Gambar 10
Grafik pengaruh storativity pada RD=450 dan reD=500 dengan variasi nilai storativity ratio=0.01 dan 10 bounded no flow reservoir komposit constant rate well.

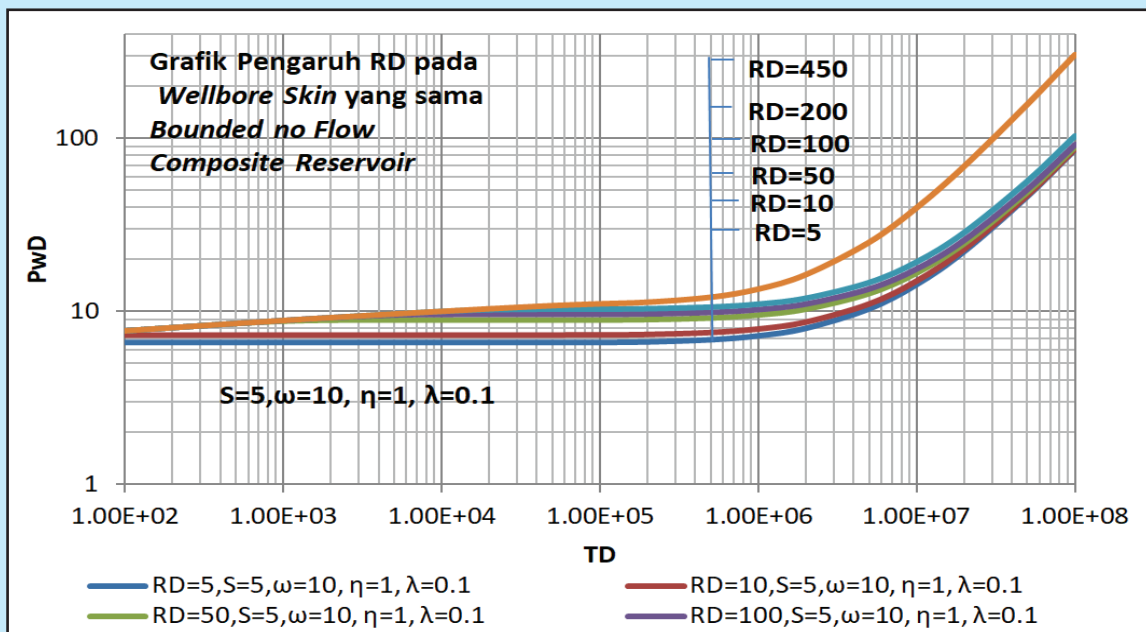


Gambar 11
Grafik pengaruh wellbore skin pada RD=50 bounded no flow reservoir komposit constant rate well.

pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10. reservoir komposit dengan batas luar yang *bounded no flow constant rate well*. Dengan jarak jari-jari *discontinuity* 5, 250 dan 450, pada kondisi batas *bounded no flow constant rate well*, storativity ratio yang sama memberikan kecenderungan *pressure drop* yang jauh lebih besar pada jarak jari-jari *discontinuity* yang lebih jauh. Pada kondisi jari-jari

discontinuity yang sama pengaruh dari batas kondisi *bounded no flow constant rate well* memberikan bentuk tren yang sama. Sedangkan pada jari-jari *discontinuity* sama storativity ratio yang lebih kecil memberikan *pressure drop* yang lebih besar.

Gambar 11 dan Gambar 12 menyajikan pengaruh skin di lubang sumur (*welboreskin*) dan jari-jari *discontinuity* terhadap penurunan tekanan. semakin



Gambar 12 Grafik pengaruh RD pada wellboreskin=5 bounded no flow reservoir komposit constant rate well.

besar kerusakan di lubang sumur maka *pressure drop* di reservoir semakin besar. pengaruh *skin* di sumur untuk *mobility ratio* lebih besar dari 1 maupun *mobility ratio* kurang dari 1 namun di zona transisi *mobility ratio* lebih besar dari 1 memberikan *pressure drop* yang jauh lebih besar pada zona tengah atau transisi dibandingkan *mobility ratio* kurang dari 1. Serta semakin jauh jarak jari-jari *diskontinuitas* semakin jauh memberikan *pressure drop* yang besar juga.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini telah dikembangkan solusi analitik dari *type curves* untuk parameter korelasi PD sebagai fungsi t_D pada reservoir komposit dua region yang diproduksi pada laju alir sumur konstan dan kondisi batas luar tertutup (*bounded no flow*). Uji sensitivitas menunjukkan bahwa parameter yang memberikan pengaruh paling sensitif untuk *type curves* yang dihasilkan dalam studi ini (*mobility ratio*, jari-jari *discontinuity*, *storativity ratio* dan *skin* di lubang sumur) adalah *mobility ratio*. *Type Curves* yang dihasilkan pada studi ini dapat digunakan untuk interpretasi log-log *type curve matching* reservoir komposit. Hasil studi ini hanya mengembangkan jenis *type curves* reservoir komposit dua region pada laju alir sumur konstan dan batas reservoir tertutup (*bounded no flow*). Untuk studi lebih lanjut dapat dilakukan pengembangan model dan *type curves* pada batas reservoir tekanan konstan atau model

reservoir komposit sampai dengan region ke “n” dengan berbagai kondisi batas luar.

KEPUSTAKAAN

- Agarwal, R., Al-Hussainy, R. & Ramey, H. J., September 1970. An Investigation of Wellbore Storage and Skin Effect in Unsteady Liquid Flow: I. Analytical Treatment. Society of Petroleum Engineers Journal, 10(03).
- Dake, L., 1979. Fundamentals of Reservoir Engineering. New York: Elsevier Scientific Publishing Co.
- Damargalih, Y., 2001. Pengembangan Decline Type Curves Untuk Reservoir Dengan Water Influx atau Injeksi Air menggunakan Kondisi Batas Luar Tekanan Tertentu. Tugas Akhir, Bandung: ITB, Bandung.
- De Jong, M., 2007. Pengembangan Decline Type Curves Untuk Reservoir Dengan Strong Water Influx menggunakan Prescribed Limiting Pressure Sebagai Kondisi Batas Reservoir-Aquifer, Tugas Akhir, Bandung: ITB, Bandung.
- Demski, J. A., 1987. Decline Curve Derivative Analysis for Homogenous and Composite Reservoirs. California-USA: Stanford University.
- Matthews, C. & Russel, D., 1967. Pressure Buildup and Flow Tests in Wells, Monograph Series. Richardson, Texas: SPE of AIME.
- Permadi, A., 1997. Modeling Simultaneous Oil and water Flow with Single-Phase Analytical Solution. s.l.: Texas A&M University at College Station.

- Permadi, A.**, 2004. Diktat Teknik Reservoir, Vol 2, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Permadi, A., Mamora, D. & Lee, W.**, 1998. Modeling Simultaneous Oil and water Flow in Reservoirs with Water Influx or Water Injection Using Single-Phase Semi-Analytical Solutions. Kuala Lumpur, Malaysia., Society of Petroleum Engineers.
- Rawati, H.**, 2006. Aplikasi Solusi Analitik Satu Fasa Radial Pada Injeksi Air Pola 5 Titik, Tugas Akhir, Bandung: ITB, Bandung.
- Stehfest, H.**, 1970. Numerical Inversion of Laplace Transforms. s.l.:Communication of the ACM.
- Turki, L., Demski, J. & Grader, A.**, 1989. Decline Curve Analysis in Composite Reservoirs. Morgantown, West Virginia, Society of Petroleum Engineers.
- Van Everdingen, A. & Hurst, W.**, 1949. The Application Of The Laplace Transformation To Flow Problems In Reservoirs. Trans AIME, Volume Vol. 186, pp. 305-324.