

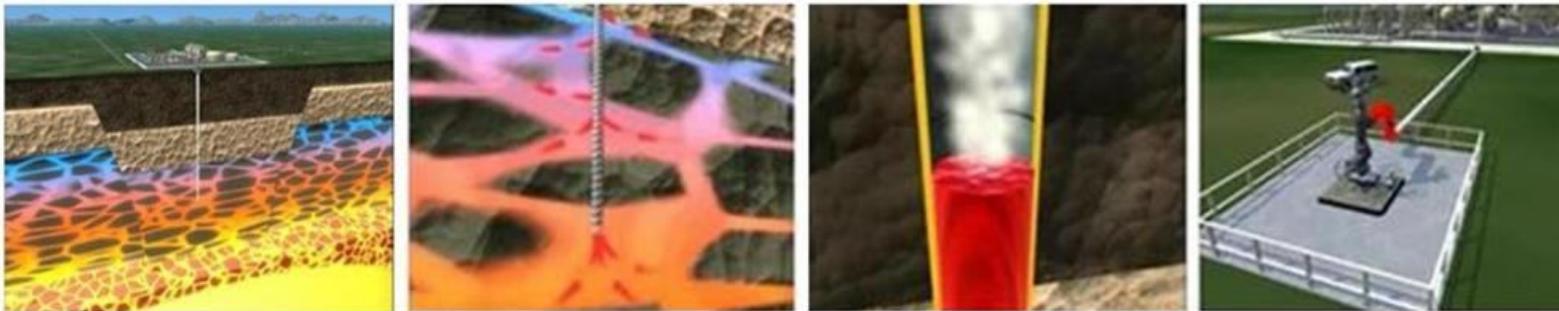


Geothermal Reservoir and Production Engineering  
Knowledge And Skills

# GEOHERMAL PRODUCTION ENGINEERING

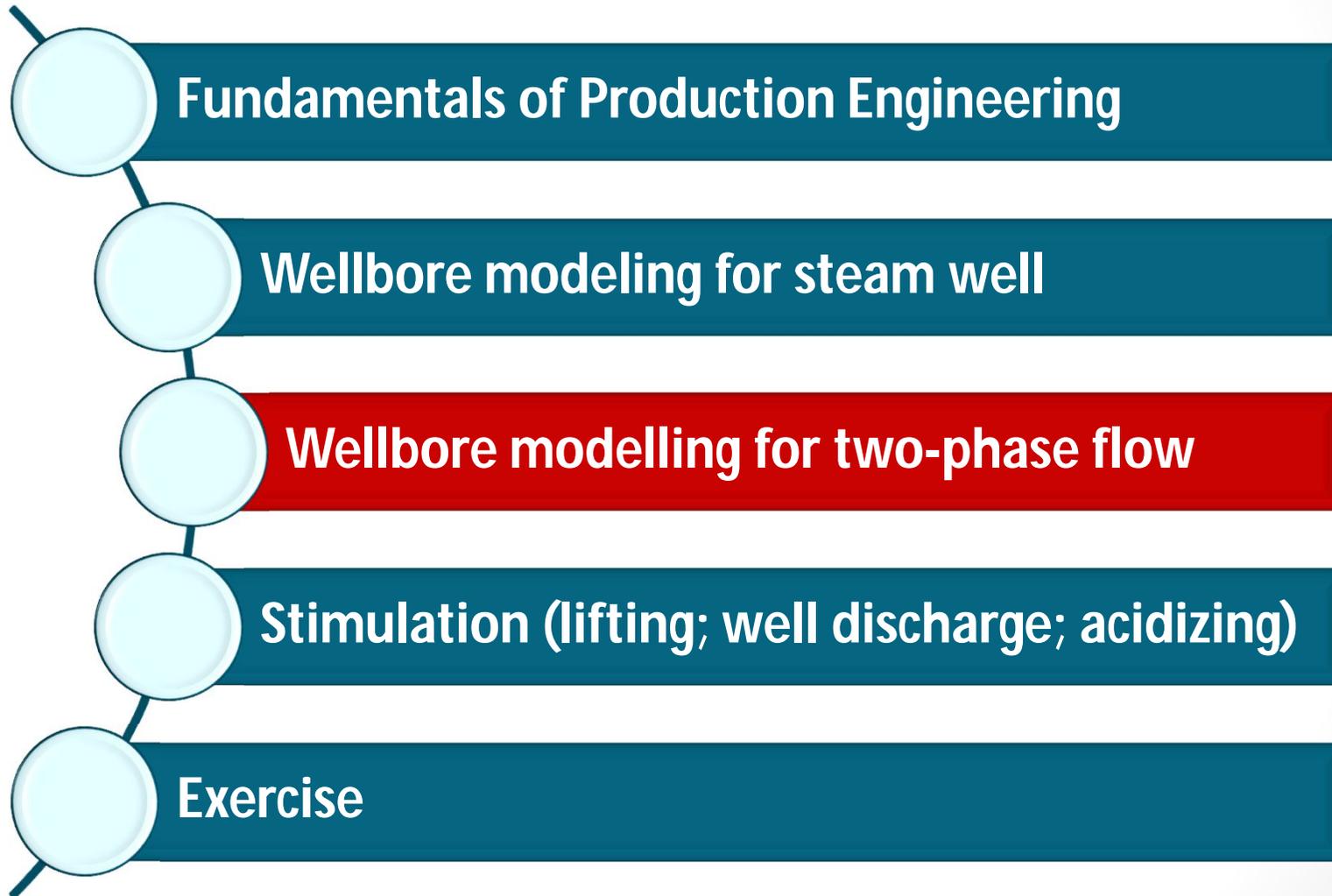
## Wellbore Modeling for Two-phase Flow

This course was developed within WP 1.04 of the GEOCAP program



Figures captured from CalEnergy's video

# TOPICS

- 
- 1 Fundamentals of Production Engineering
  - 2 Wellbore modeling for steam well
  - 3 Wellbore modelling for two-phase flow
  - 4 Stimulation (lifting; well discharge; acidizing)
  - 5 Exercise

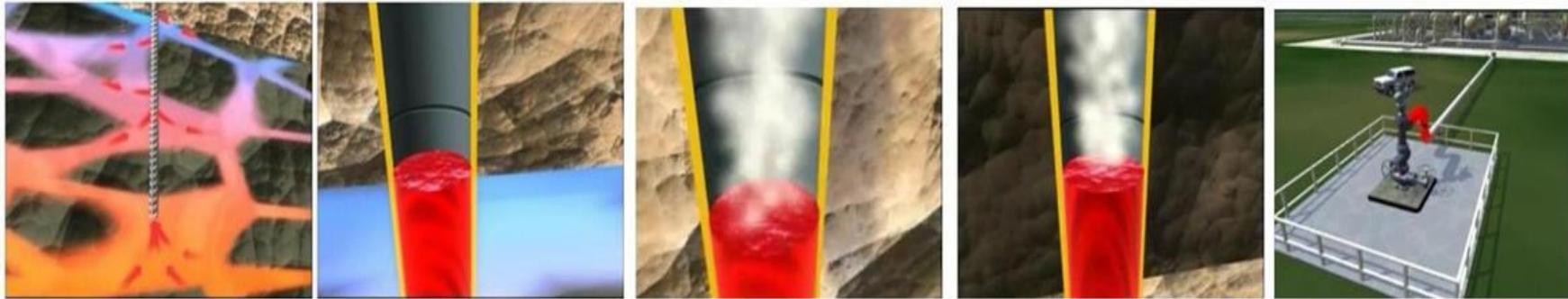


Geothermal Reservoir and Production Engineering  
Knowledge And Skills

Part – 3:  
**Wellbore Modeling  
for Two-phase Flow**

Nenny Saptadji (ITB)  
Nurita Putri Hardiani (ITB)  
Heru Berian Pratama (ITB)

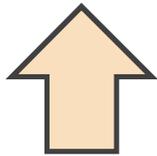
Course material is in Indonesian Language



Figures captured from CalEnergy's video

(Source: Bodvarsson)

## Sumur Dua Fasa



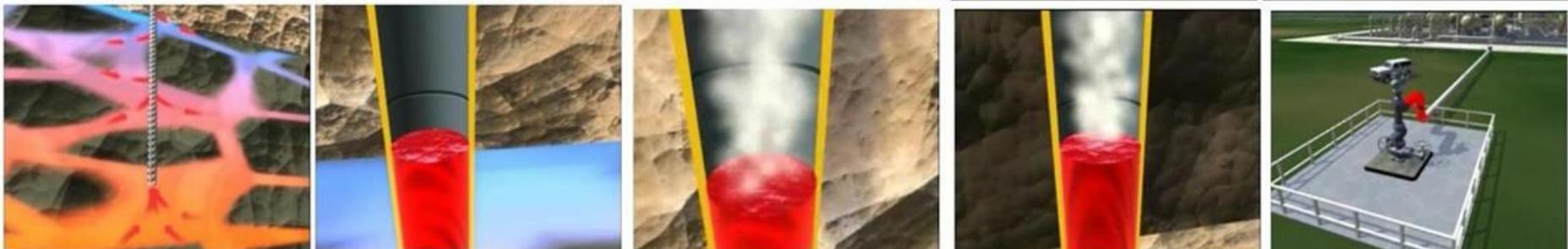
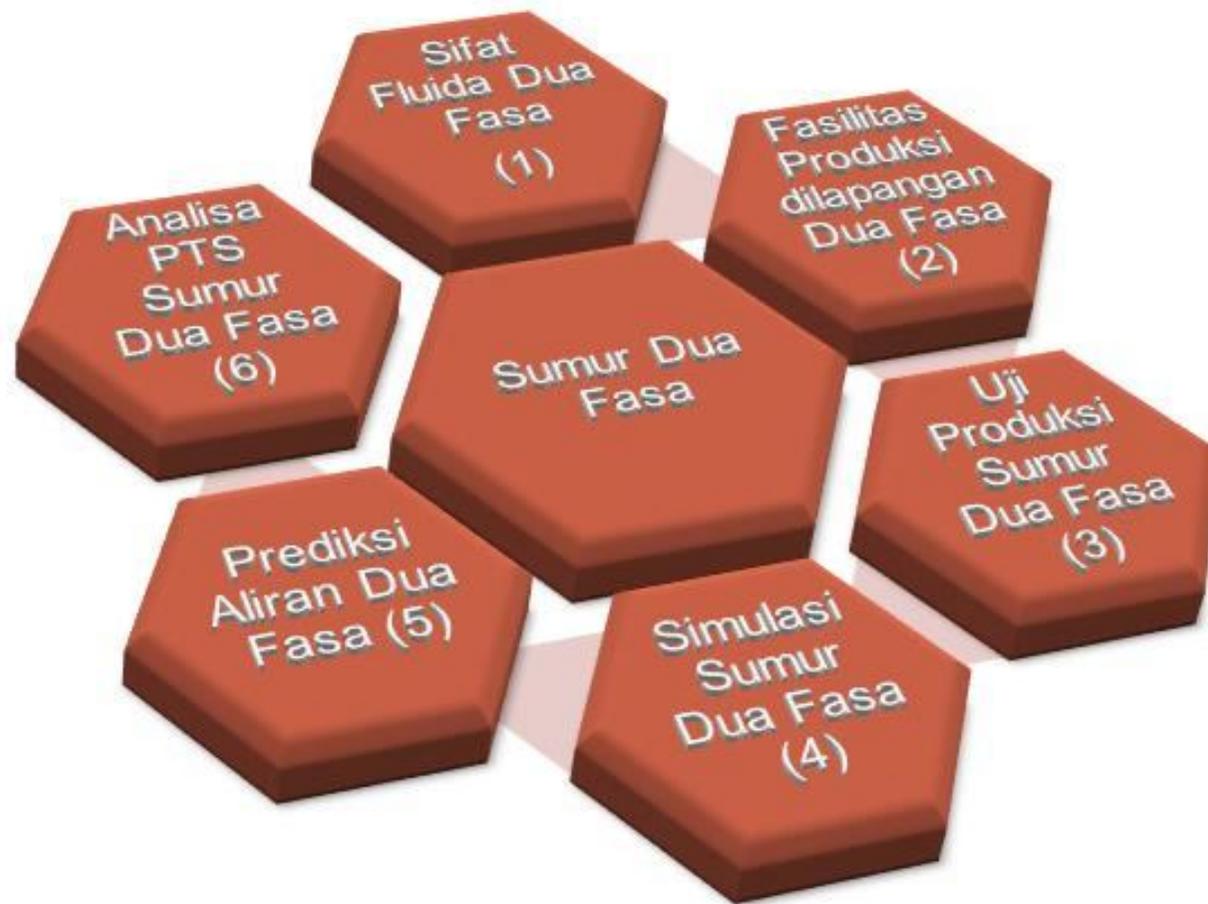
**Fluida dari  
Sistim Satu Fasa Air  
atau  
Sistim Dominasi Air**

Lapangan	Negara	Temp. (°C)
Krafla	Iceland	300-350
Nesjavellir	Iceland	300-400
Olkari	Kenya	300
Cerro Prieto	Mexico	280-340
Broadlands	NZ	270
Wairakei	NZ	270
BacMan	Phillipines	300-320
Tongonan	Phillipines	300-350
Baca	USA	270

# RESERVOIR DUA FASA YANG TELAH TERIDENTIFIKASI DI INDONESIA



Field	Province	Type of Reservoir	Temp. (°C)
Lahendong <sup>1)</sup>	North Sulawesi	Water Dominated	260 - 330°C
Salak <sup>1)</sup>	West Java	Water Dominated	240 - 310°C
Sibayak <sup>1)</sup>	North Sumaters	Water Dominated	240- 275°C
Dieng <sup>1)</sup>	Centra java	Water Dominated	280- 330°C
Sarulla <sup>1)</sup>	North Sumatera	Water Dominated	250- 270°C
Ulubelu <sup>2)</sup>	Lampung (Sumatera)	Water Dominated	280°C
Lumut Balai <sup>2)</sup>	South Sumatera	Water Dominated	260°C



Figures captured from CalEnergy's video

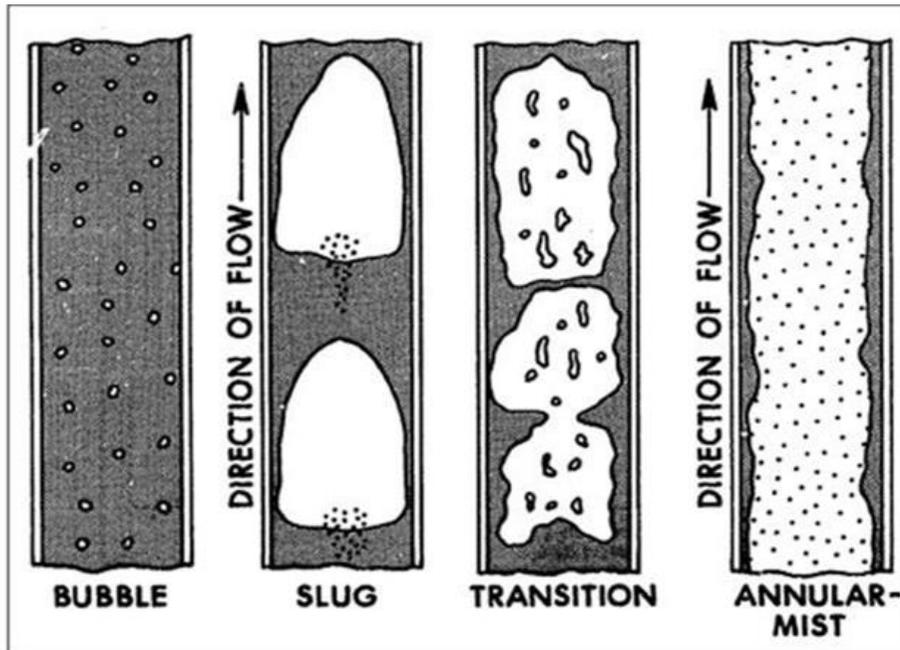
# ALIRAN DUA FASA: UAP DAN AIR



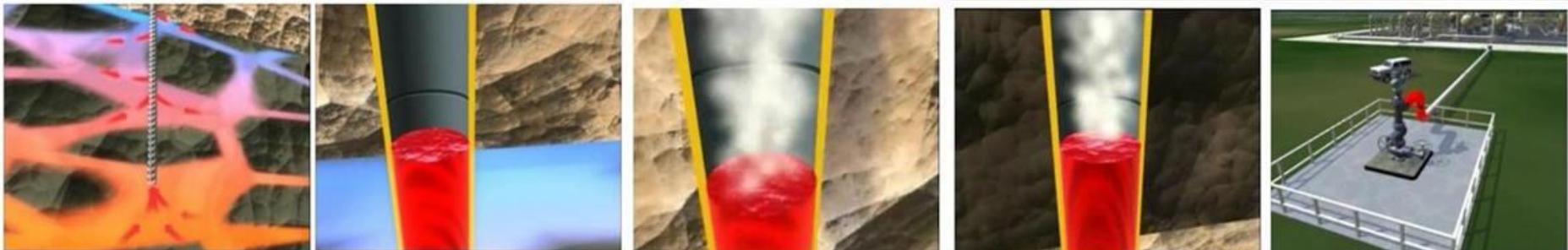
Figures captured from CalEnergy's video

Aliran dua-fasa sangat berbeda dengan aliran satu fasa. Adanya antar muka menyebabkan uap dan air apabila mengalir bersama-sama di dalam pipa maka masing-masing fasa tidak akan tercampur, tetapi terpisah, masing-masing fasa terdistribusi dalam menempati bagian dari pipa alir.

# Pola Aliran Fluida Dua Fasa di Dalam Sumur



- ❖ Pola aliran dua fasa: penggambaran distribusi relatif antara uap dan air yang bergerak secara serentak.
- ❖ Dari beberapa pengamatan dan penelitian, dalam sistim aliran vertikal pola alir yang mungkin terjadi: *bubble*, *slug*, *transisi (churn)*, dan *mist*



Figures captured from CalEnergy's video

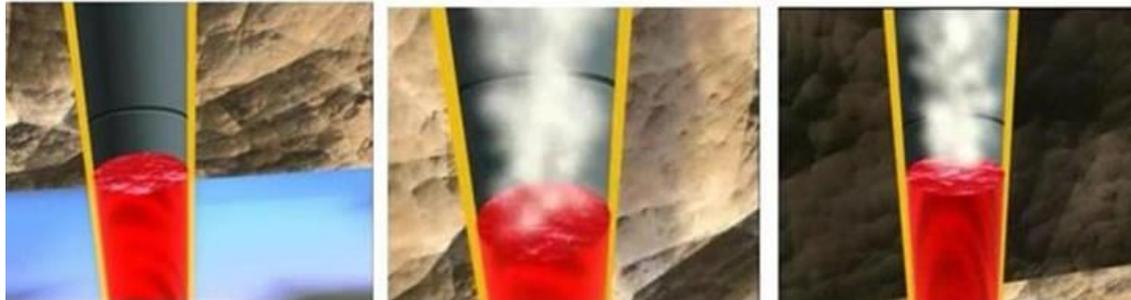
**METODA PERHITUNGAN  
GRADIEN TEKANAN DI  
DALAM SUMUR DUA FASA**



# Perhitungan Gradien Tekanan di Sumur Dua Fasa

Homogenous Model

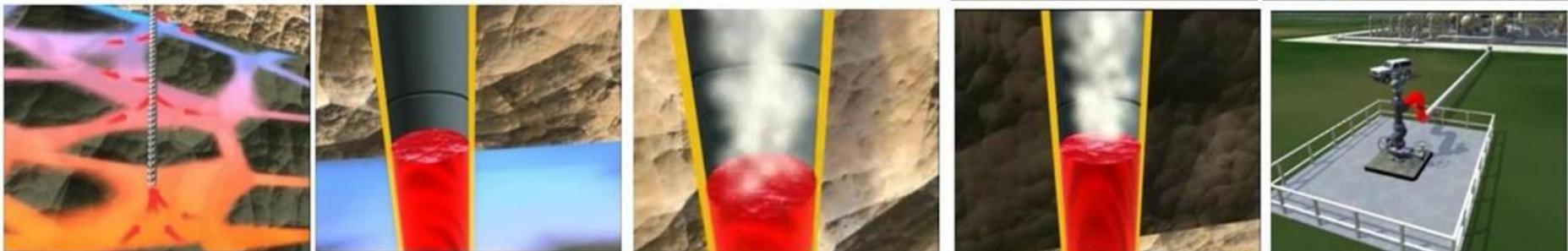
Separated Model



- **Homogeneous Model**

Dalam model ini uap dan air dianggap tercampur sempurna, sehingga campuran air-uap berkelakuan seperti fluida satu fasa dengan sifat rata-rata tergantung dari sifat masing-masing fasa.

Asumsi aliran homogen untuk campuran uap-air terlalu menyederhanakan persoalan.

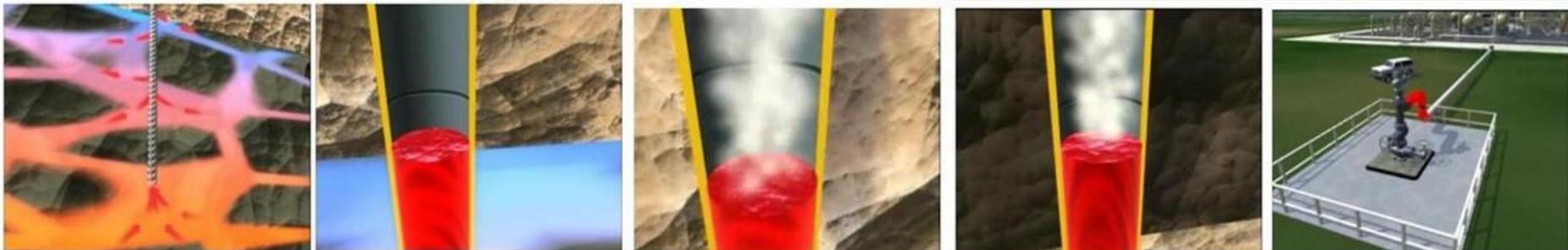


Figures captured from CalEnergy's video

- **Separated Model**

Asumsi aliran homogen untuk campuran uap-air terlalu menyederhanakan persoalan.

Dalam separated model, fasa uap dan fasa cair di dalam sumur tidak tercampur, tetapi terpisah, masing-masing fasa terdistribusi dalam menempati bagian dari pipa alir..



Figures captured from CalEnergy's video

## Separated Model:

Metoda Lokhart  
Martinelli

Metoda Harrison &  
Freeston

Metoda Hagedorn &  
Brown

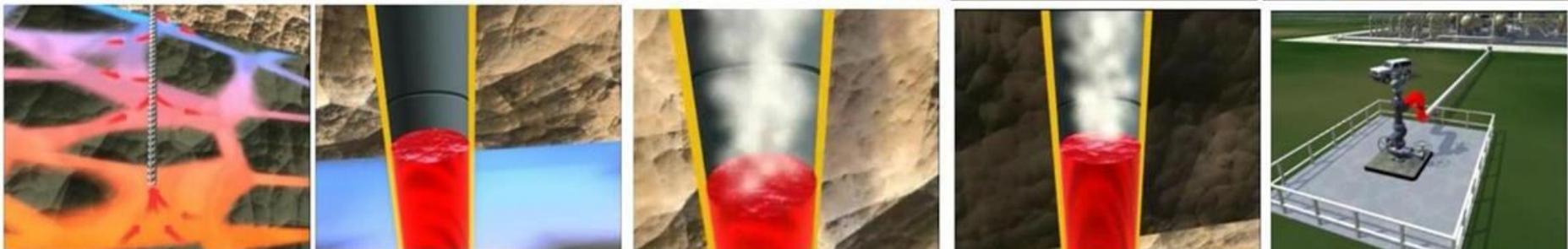
Metoda Duns & Ros

Metoda Orkiszewsi

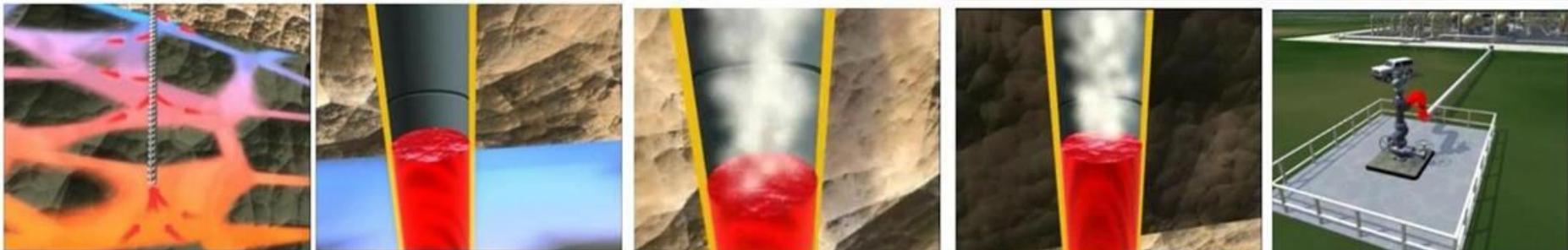
Metoda Beggs &  
Brill

Metoda Drift-flux  
(Hasan & Kabir)

Banyak metoda  
lainnya.....



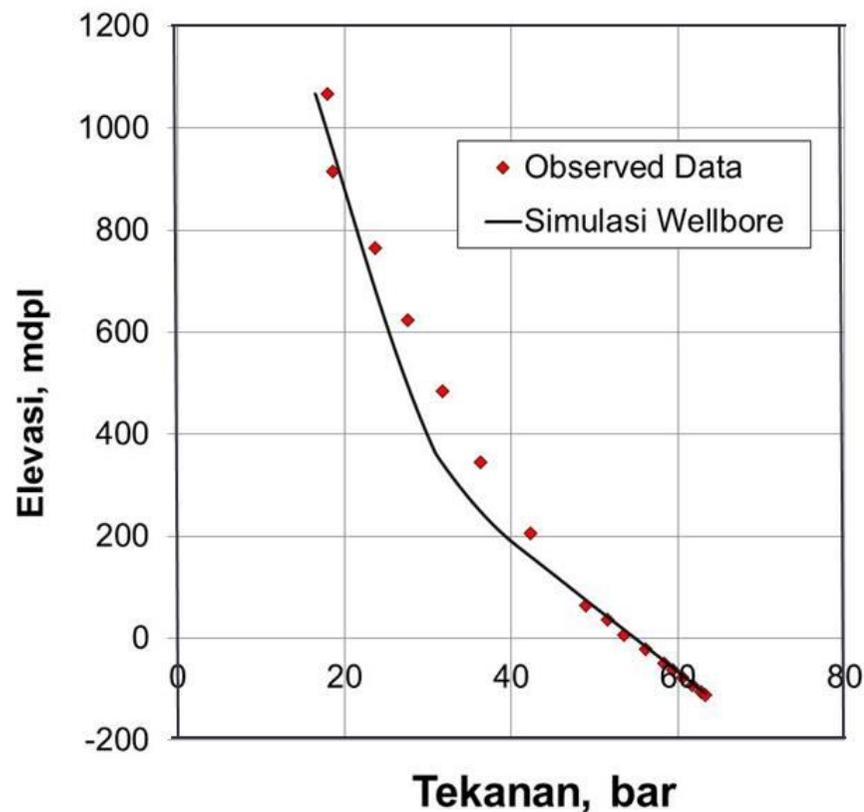
Figures captured from CalEnergy's video



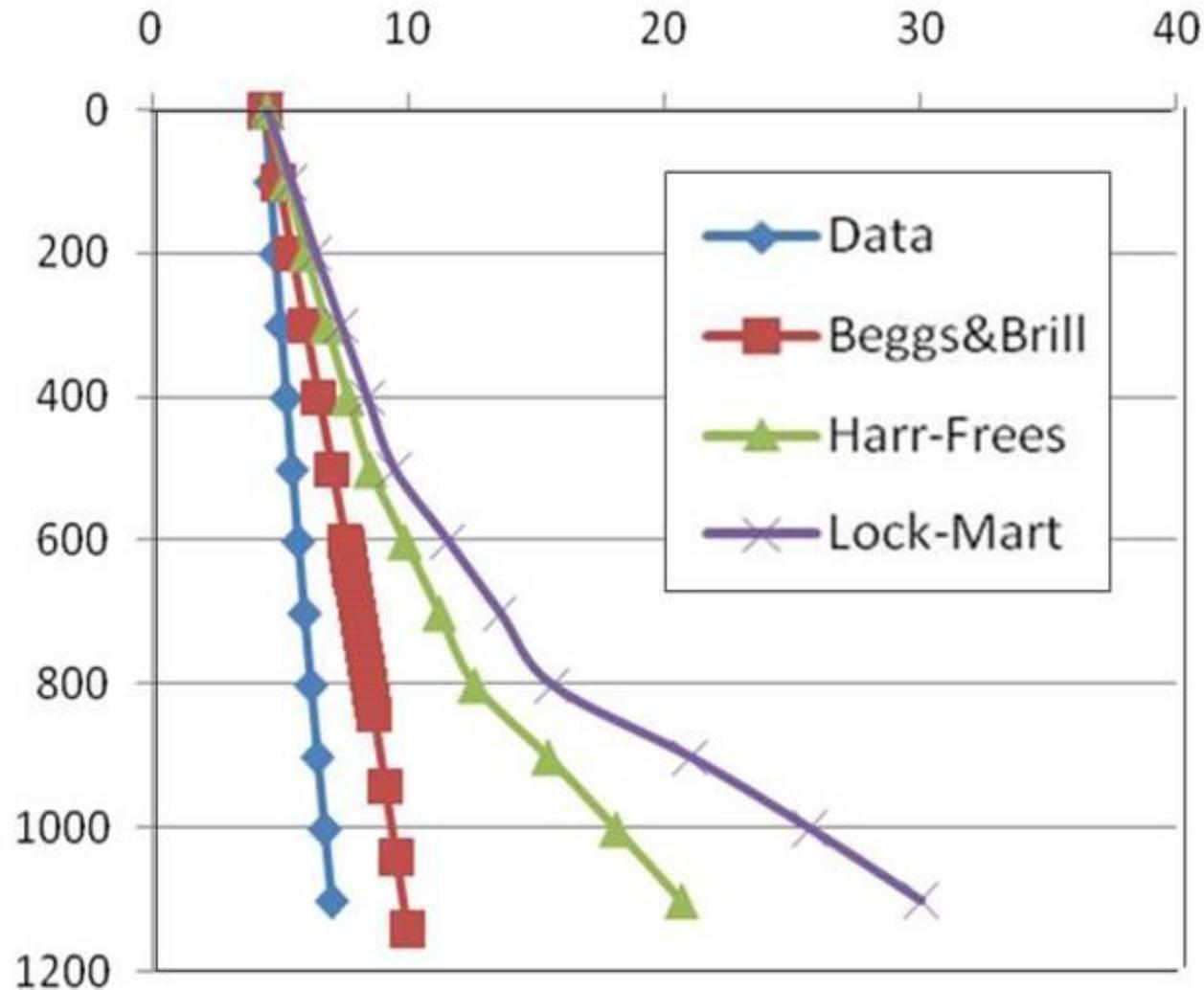
Figures captured from CalEnergy's video

## Metoda yang tepat ?

- Metoda yang memberikan hasil perhitungan yang selaras dengan data dari pengukuran.
- Menunjukkan bahwa model valid – dapat digunakan untuk prediksi – hasil prediksi dapat diandalkan



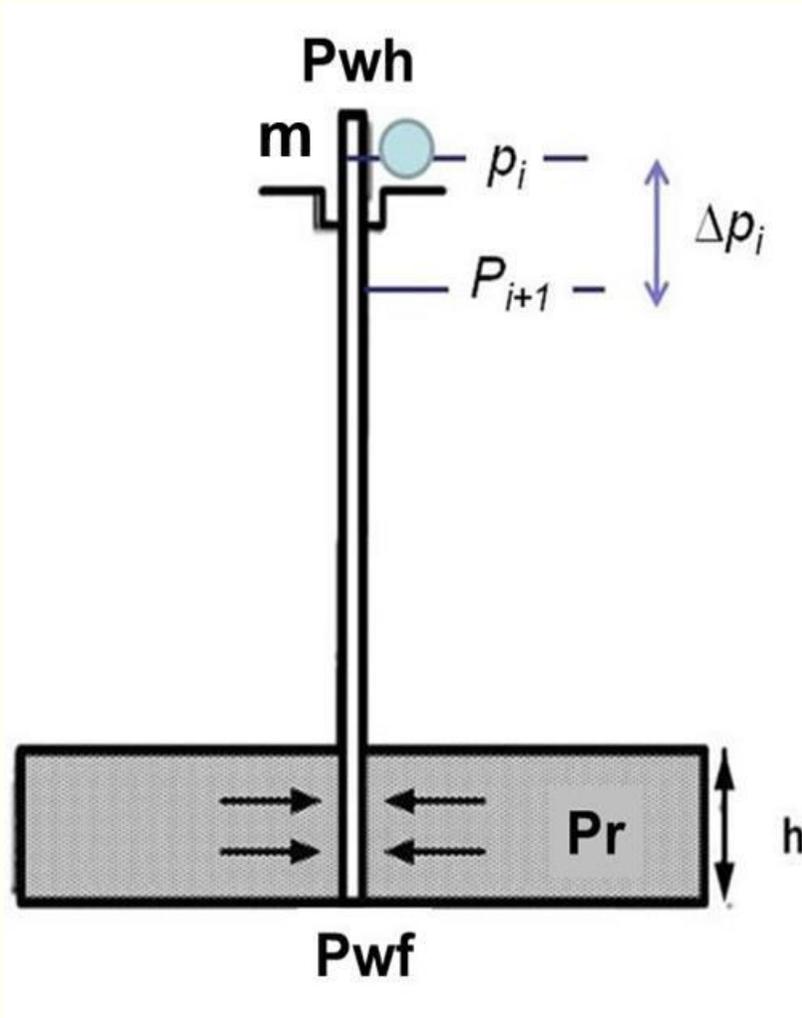
# Perbandingan Metode Penghitungan Pressure Drop Untuk Prediksi Sumur X (Dimas Taha dan Nenny Saptadji, 2012)



# HOMOGENOUS MODEL



# HOMOGENOUS MODEL



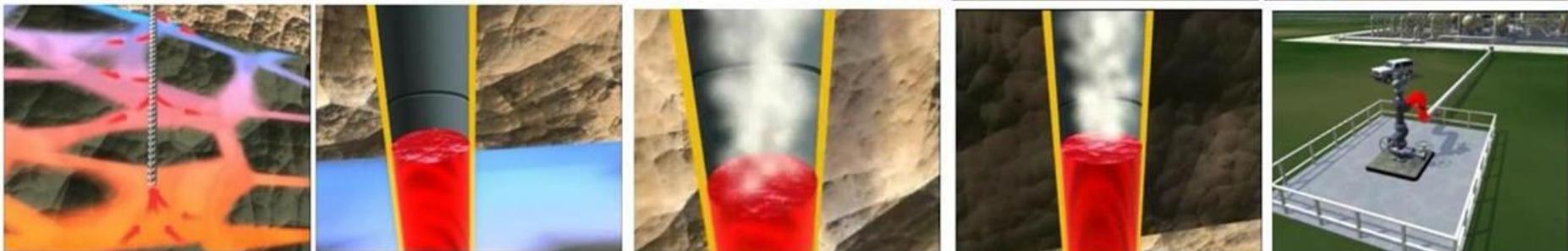
Nenny Saptadji ITB

- ❖ Jika dari uji produksi diketahui pada tekanan alir kepala sumur  **$P_{wh}$**  atau **WHP**, laju alirnya  **$m$** , maka dapat diprediksi atau dihitung tekanan alir di dalam sumur hingga di dasar sumur ( **$P_{wf}$** ).
- ❖ Perhitungan dilakukan dari atas ke bawah atau *top down*):

# HOMOGENOUS MODEL

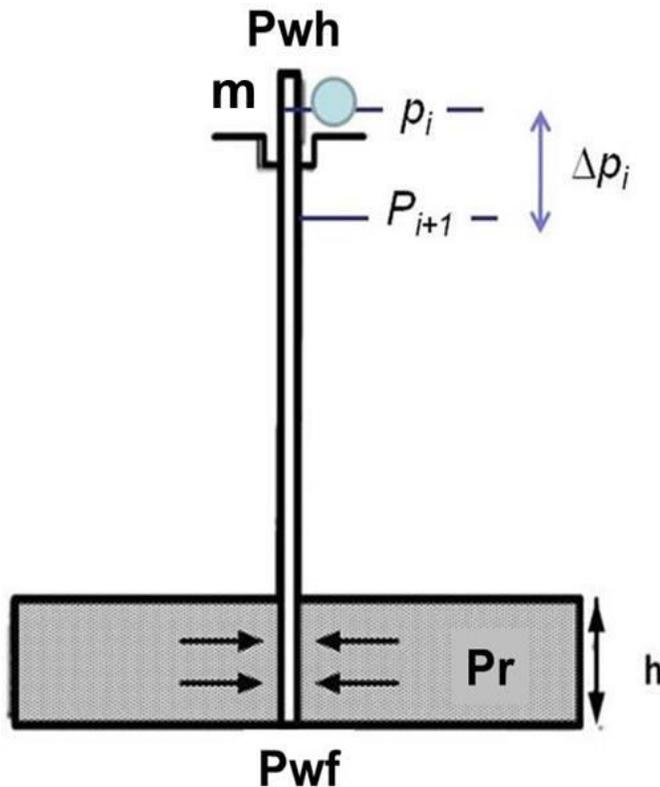


- ❖ Dalam model ini uap dan air dianggap tercampur sempurna, sehingga campuran air-uap berkelakuan seperti fluida satu fasa dengan sifat rata-rata tergantung dari sifat masing-masing fasa.
- ❖ Dengan anggapan tersebut diatas, maka kehilangan tekanan dihitung dengan cara yang sama seperti cara perhitungan kehilangan tekanan untuk aliran satu fasa.



Figures captured from CalEnergy's video

# HOMOGENEOUS MODEL



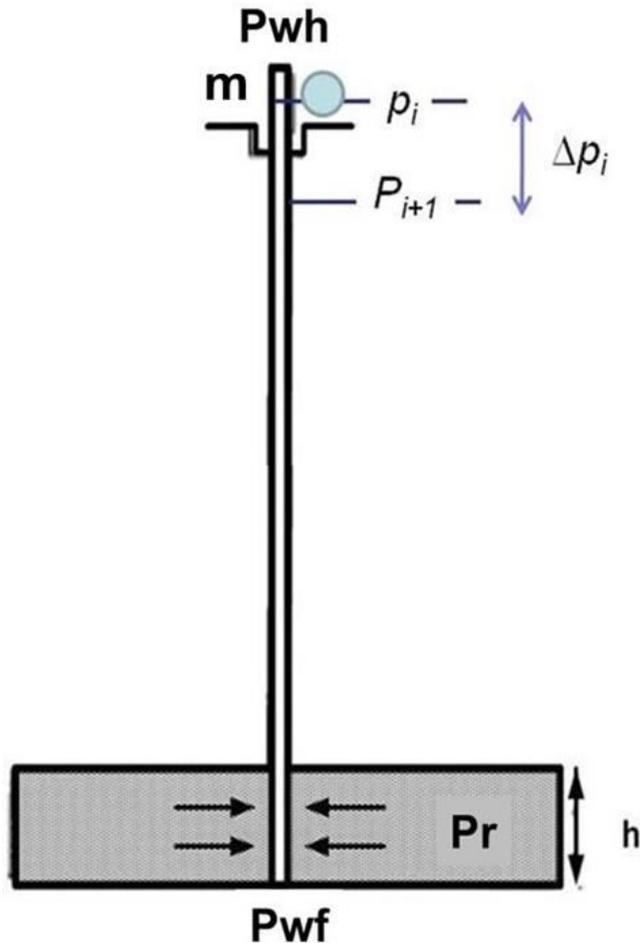
Apabila  $dp/dz$  karena akselerasi diabaikan, maka persamaannya adalah sbb:

$$\left( \frac{dp}{dz} \right)_t = \rho_m g \sin \theta + \frac{\lambda \overline{V}_m^2}{2v_m D}$$

Apabila volume spesifik campuran uap-air ( $u_m$ ) adalah:

$$u_m = x u_g + (1 - x) u_L$$

# HOMOGENEOUS MODEL



Maka densitas campuran uap-air ( $\rho_m$ ) adalah:

$$\rho_m = \frac{1}{v_m}$$

Apabila laju alir masa fluida adalah  $m$  dan luas penampang pipa alir adalah  $A$  ( $D$  adalah diameter pipa), maka kecepatan fluida adalah:

$$V_m = \frac{m v_m}{A}$$

Friction factor ditentukan sbb:

$$\lambda = 8 \left[ \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + \frac{1}{(A + B)^{3/2}} \right]^{1/12}$$

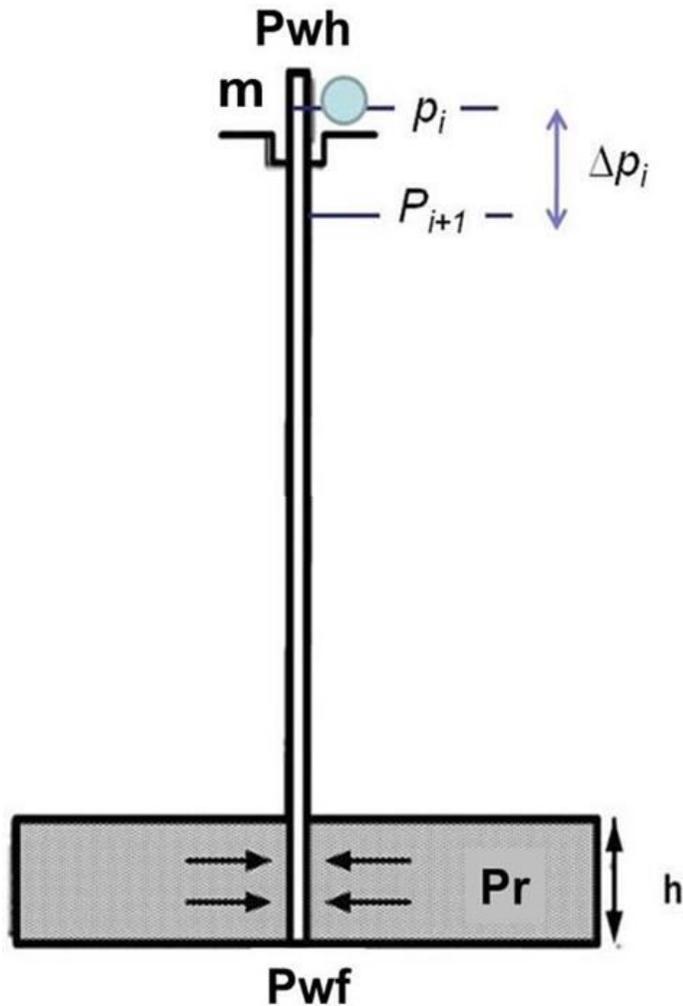
$$A = \left[ 2,457 \ln \frac{1}{\left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + 0.27 \frac{\varepsilon}{D}} \right]^{16}$$

$$B = [ 37530 / Re ]^{16}$$

Bilangan Reynold adalah:

$$Re = \frac{\rho_m V_m D}{\mu_m}$$

$$\mu_m = x\mu_g + (1 - x)\mu_L$$



# Latihan-1



The following data detail measurements made on a discharging well. Show, by calculation for at least one pressure increment, **how you would estimate the bottom hole pressure.**

State the assumptions made for use of the method. Assume typical values of roughness for casing and liner.

- Flowing well-head pressure      1.4 MPa
- Total mass flow rate              25.8 kg/s
- Steam fraction at well-head      0.36
- Casing inside diameter            0.22 m
- Casing depth                        452 m
- Liner inside diameter              0.16 m
- Well depth                            1262 m

## Latihan-2

Sumur vertikal XXX-1 memiliki konfigurasi sumur sbb:

### Casing Configuration:

1. OD = 13.375"  
ID = 12.52"  
Depth = 0-650 meter  
 $\epsilon = 4.5 \times 10^{-3}$  mm
2. OD = 9.625"  
ID = 8.835"  
Depth = 600-1550 meter  
 $\epsilon = 4.5 \times 10^{-3}$  mm
3. OD = 7"  
ID = 6.185"  
Depth = 1500 – 1800 meter  
 $\epsilon = 4.5 \times 10^{-3}$  mm

## Latihan-2 (cont'd)



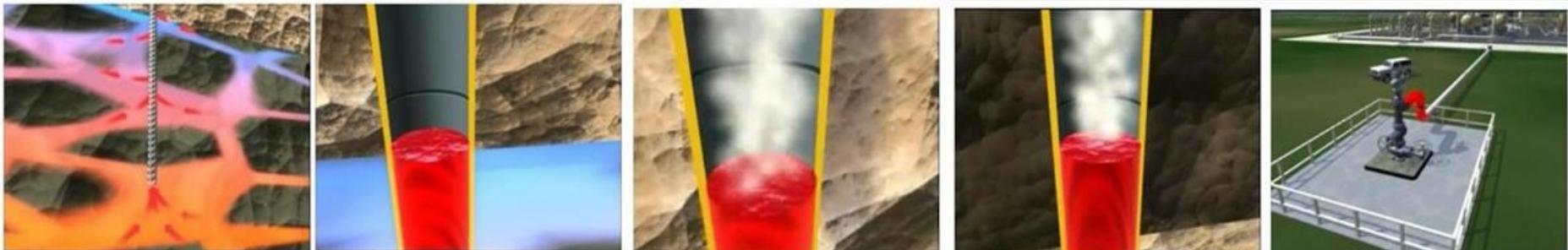
Jika pada permukaan, diperoleh data:

WHP = 30 bara

Flow rate = 15 kg/s

Enthalpy = 2100 kJ/kg

Dengan menggunakan metode **Homogenous**,  
estimasikan BHP (Bottom Hole Pressure) sumur  
XXX-1.



Figures captured from CalEnergy's video

**METODA  
LOKHART  
MARTINELLI**



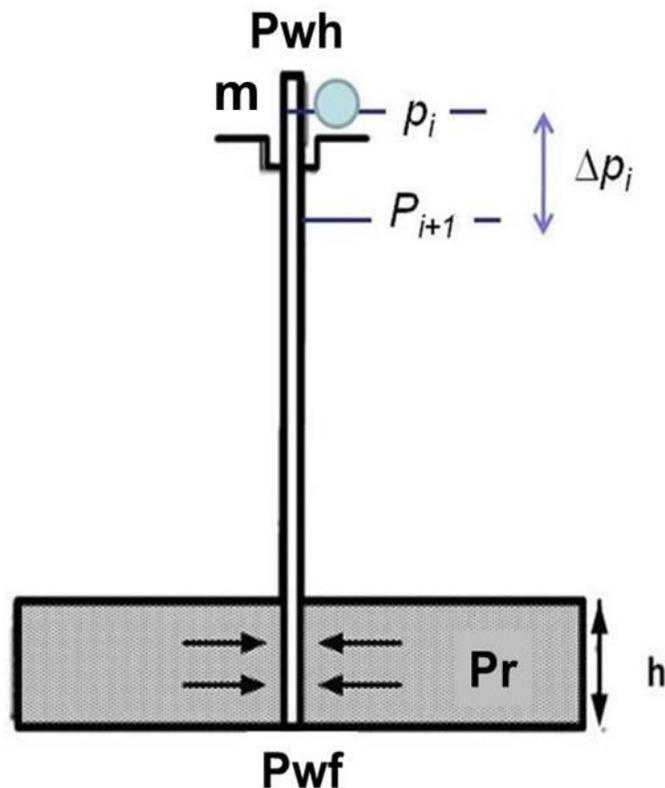
# Metoda Lokhart Martinelli



- ❖ Metoda ini menggunakan asumsi bahwa uap dan air tidak tercampur. Untuk merepresentasikan hal tersebut digunakan parameter **Kecepatan Superficial**, yaitu kecepatan masing-masing fasa uap dan fasa cair jika mengalir sendiri-sendiri di dalam pipa.
- ❖ Apabila  $m$  adalah laju alir masa fluida, maka superficial liquid dan gas velocity adalah:

$$V_{sl} = \frac{m(1-x)v_f}{A} \qquad V_{sg} = \frac{mxv_g}{A}$$

# Metoda Lokhart Martinelli



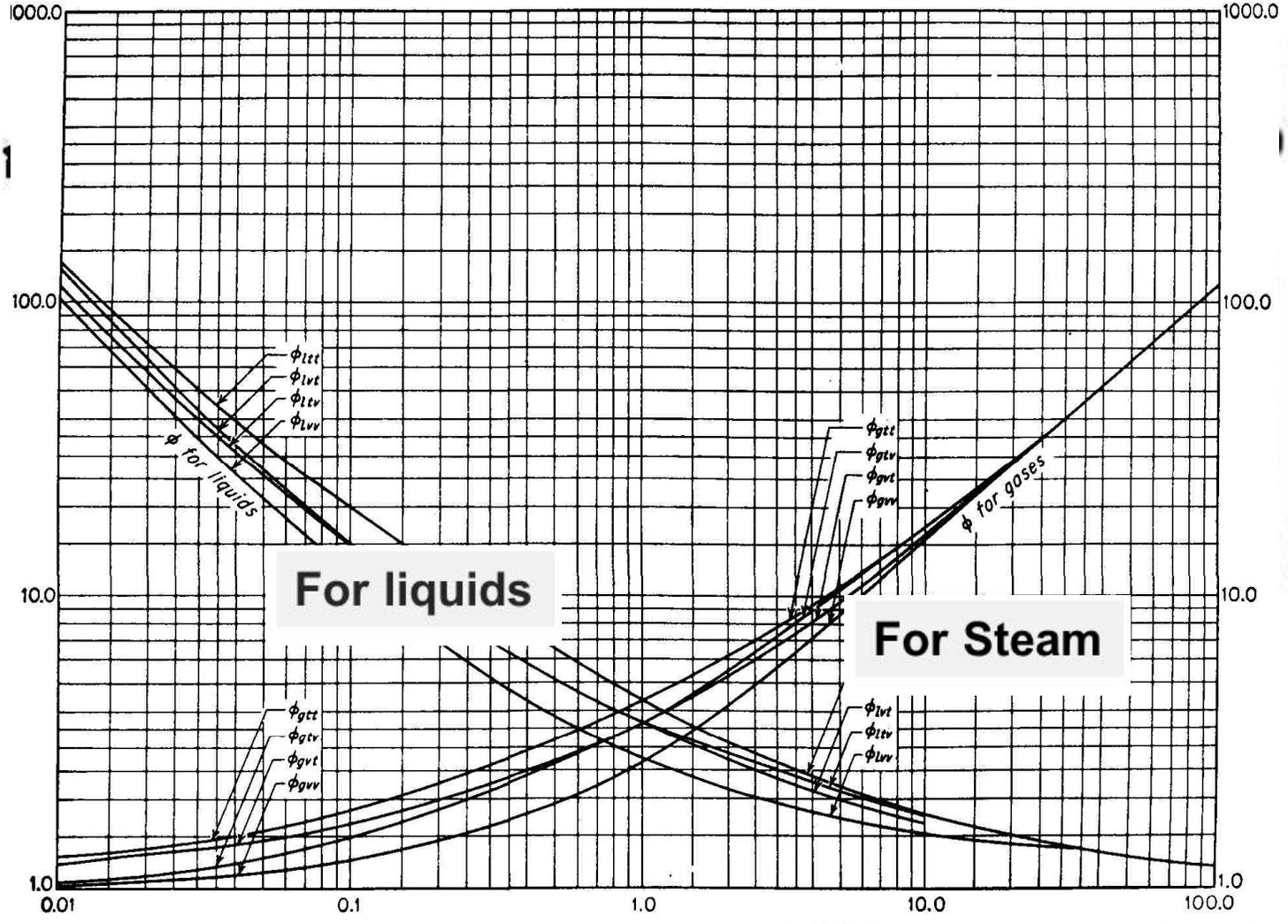
- ❖ Kehilangan tekanan dua fasa  $(dp/dz)_{tp}$  dihitung berdasarkan kehilangan tekanan satu fasa, bisa fasa uap atau fasa cair  $[(dp/dz)_g$  atau  $(dp/dz)_L]$ .

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{TP} = \phi^2 \left(\frac{dp}{dz}\right)_{G \text{ atau } L}$$

Dimana  $\phi$  adalah faktor pengali dua fasa *atau two-phase multiplier*, yang besarnya ditentukan dari korelasi

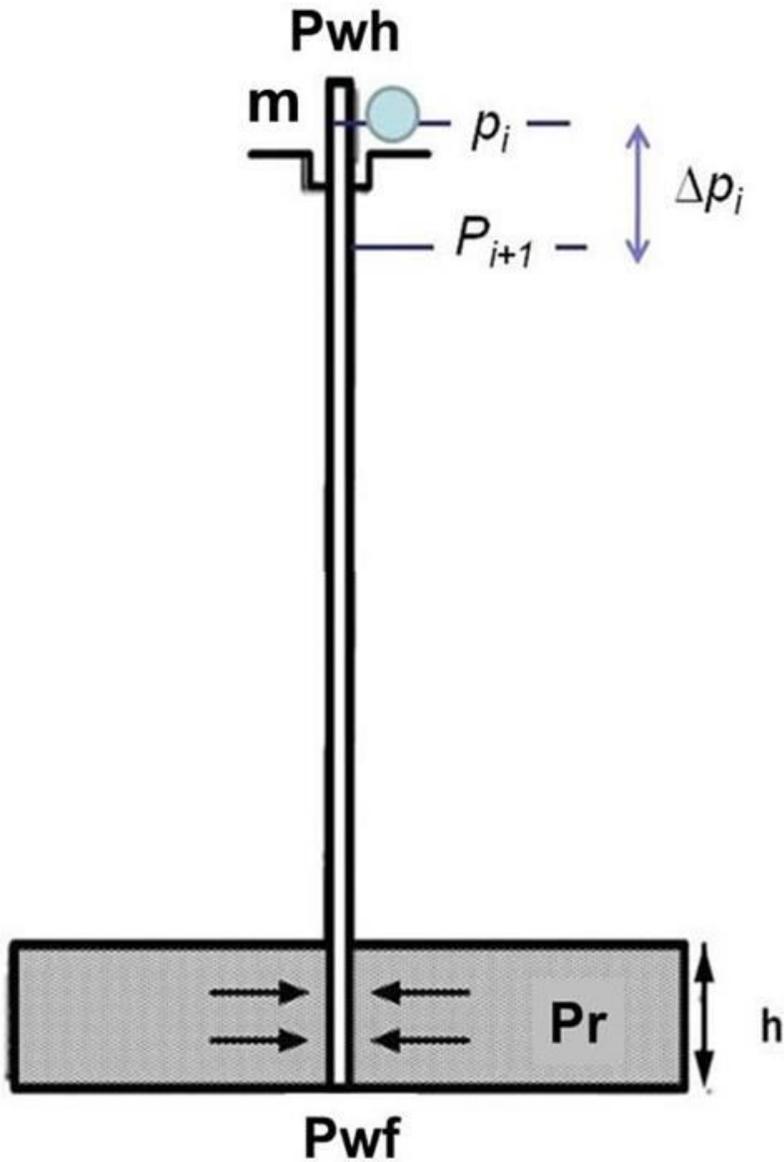
### Flow and Compression Calculations

$$\text{Parameter } \phi = \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{TP} / \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{L \text{ or } G}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{TP}}{\Delta P_{L \text{ or } G}}}$$



$$\text{Parameter } X = \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_L / \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_G} = \sqrt{\frac{\Delta P_L}{\Delta P_G}}$$

$$\text{Parameter } \phi = \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{TP} / \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{L \text{ or } G}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{TP}}{\Delta P_{L \text{ or } G}}}$$



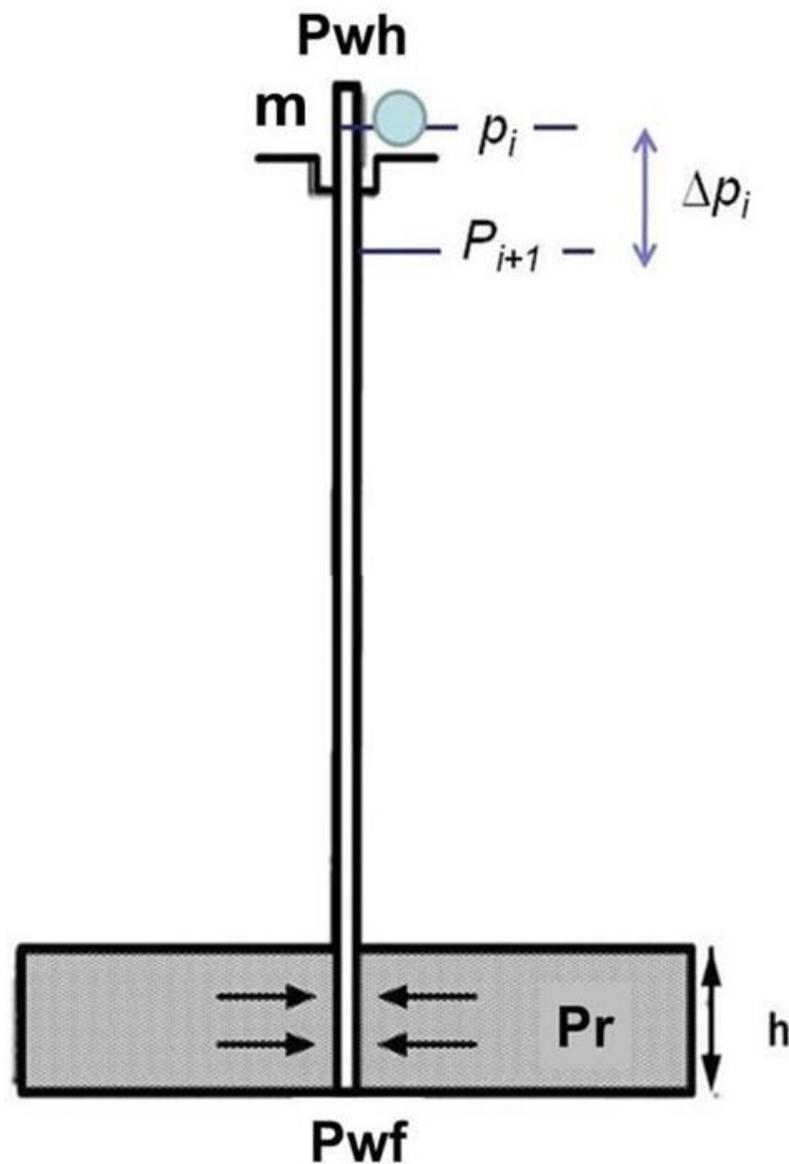
Harga X ditentukan sebagai berikut:

$$X = \left[ \frac{(dp/dz)_L}{(dp/dz)_G} \right]^{0.5}$$

Dimana:

$$\left( \frac{dp}{dz} \right)_L = \frac{\lambda_l V_{sl}^2}{2\nu_f D}$$

$$\left( \frac{dp}{dz} \right)_G = \frac{\lambda_g V_{sg}^2}{2\nu_g D}$$



Apabila pada tekanan  $P$ , fluida mempunyai enthalpy  $h$ , dimana  $h_f < h < h_g$ , maka fraksi uap (dryness) adalah

$$x = \frac{h - h_f}{h_{fg}}$$

Apabila  $m$  adalah laju alir masa fluida, maka superficial liquid dan gas velocity adalah:

$$V_{sl} = \frac{m(1-x)v_f}{A}$$

$$V_{sg} = \frac{mxv_g}{A}$$

Reynold number fasa cair dan uap :

$$\text{Re}_L = \frac{V_{sl} \times D}{\nu_f \mu_f}$$

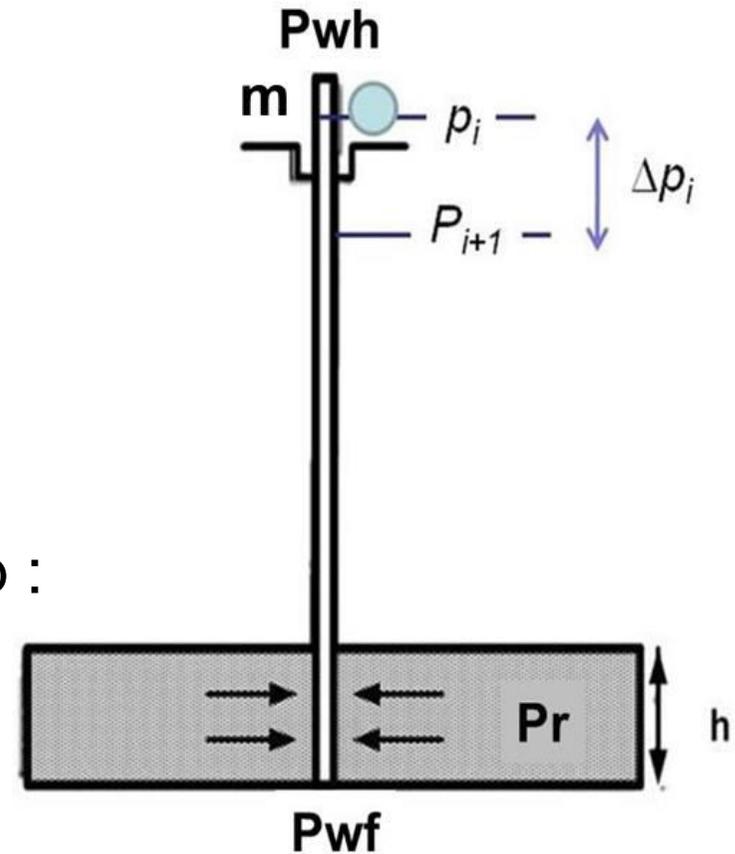
$$\text{Re}_G = \frac{V_{sg} \times D}{\nu_g \mu_g}$$

Friction faktor fasa cair dan dan uap :

$$\lambda = 8 \left[ \left( \frac{8}{\text{Re}} \right)^{12} + \frac{1}{(A+B)^{3/2}} \right]^{1/12}$$

$$A = \left[ 2.457 \left( \ln \frac{1}{\left( \frac{7}{\text{Re}} \right)^{0.9+0.27} \frac{\varepsilon}{D}} \right) \right]^{16}$$

$$B = \left( \frac{37530}{\text{Re}} \right)^{16}$$



## Gradien tekanan karena elevasi:

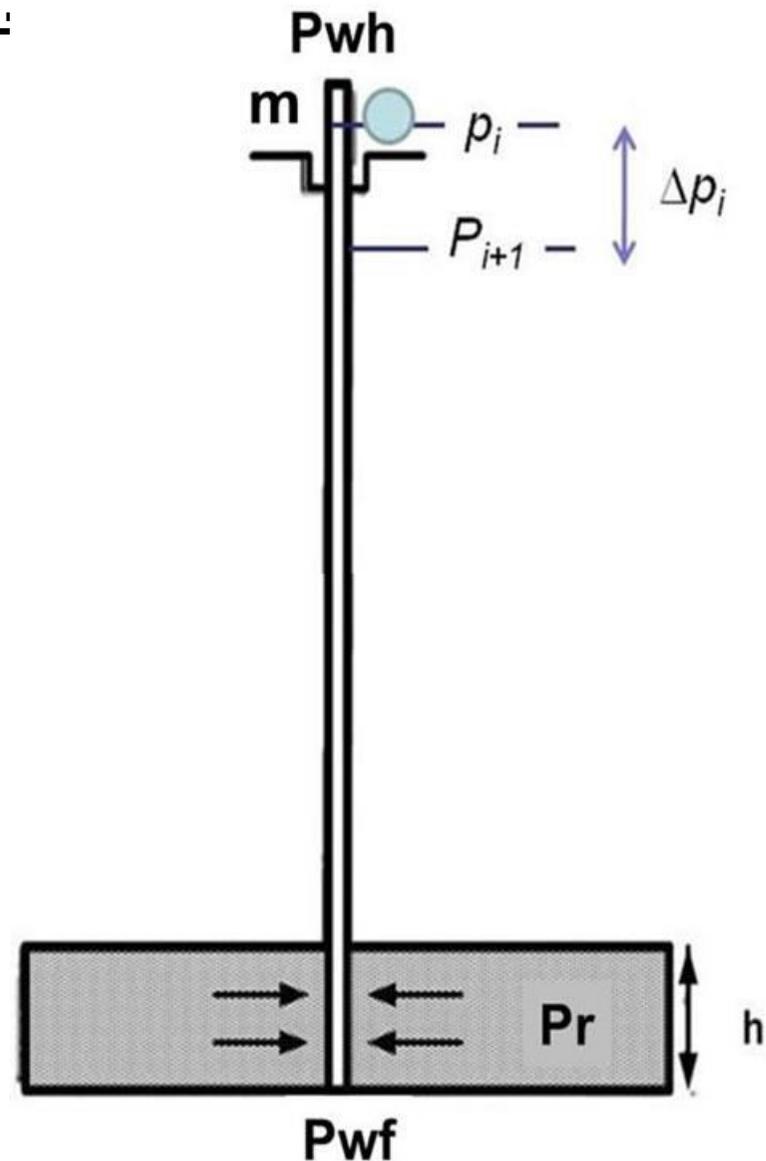
$$\left( \frac{dp}{dz} \right)_g = \bar{\rho} g \sin \theta$$

Dimana:  $\bar{\rho} = \alpha \rho_g + (1 - \alpha) \rho_f$

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left( \frac{1-x}{x} \right)^{0.8} \left( \frac{v_L}{v_g} \right)^{0.515}}$$

## Gradien tekanan total:

$$\frac{dp}{dz} = \left[ \left( \frac{dp}{dz} \right)_{TP} + \left( \frac{dp}{dz} \right)_g \right] x z$$



# PROSEDURE PERHITUNGAN METODA LOKHART MARTINELLI



1. Apabila perhitungan dimulai dari kepala sumur, catat besarnya tekanan kepala sumur.
2. Tentukan  $h_f, h_{fg}, v_f, v_g, \mu_f$ , dan  $\mu_g$
3. Hitung fraksi uap dalam air (dryness) dengan persamaan:

$$X = \frac{h - h_f}{h_{fg}}$$

4. Hitung superficial liquid ( $V_{sl}$ ) and gas ( $V_{sg}$ ) velocities:

$$V_{sl} = \frac{m(1-x)v_f}{A} \quad V_{sg} = \frac{mxv_g}{A}$$

Dimana:  $A = \frac{\pi D^2}{4}$

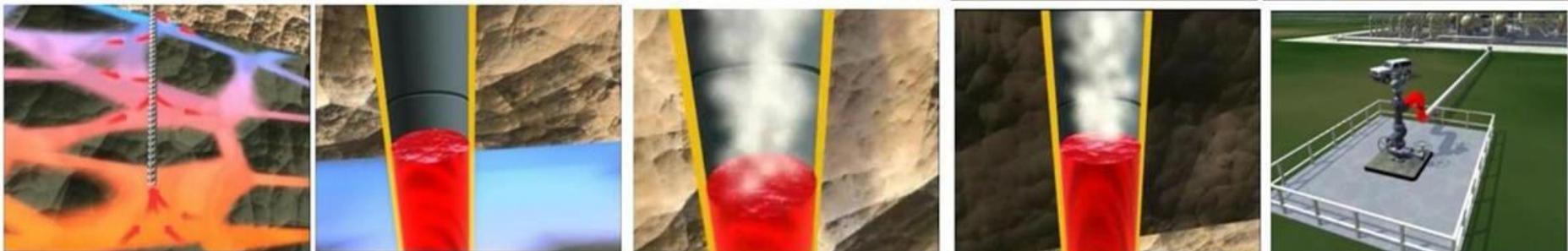
## PROSEDURE PERHITUNGAN METODA LOKHART MARTINELLI (Cont'd)



5. Hitung Reynold number fasa cair dan fasa uap:

$$\text{Re}_L = \frac{V_{sl} \times D}{\nu_f \mu_f}$$

$$\text{Re}_G = \frac{V_{sg} \times D}{\nu_g \mu_g}$$



Figures captured from CalEnergy's video

## PROSEDURE PERHITUNGAN METODA LOKHART MARTINELLI (Cont'd)



6. Hitung *friction factor* fasa cair dan fasa uap :

$$\lambda = 8 \left[ \left( \frac{8}{\text{Re}} \right)^{12} + \frac{1}{(A+B)^{3/2}} \right]^{1/12}$$

$$A = \left[ 2.457 \left( \ln \frac{1}{\left( \frac{7}{\text{Re}} \right)^{0.9+0.27} \frac{\varepsilon}{D}} \right) \right]^{16}$$

$$B = \left( \frac{37530}{\text{Re}} \right)^{16}$$

## PROSEDURE PERHITUNGAN METODA LOKHART MARTINELLI (Cont'd)



7. Hitung gradien tekanan:  $\left(\frac{dp}{dz}\right)_L = \frac{\lambda_l V_{sl}^2}{2 \nu_f D}$

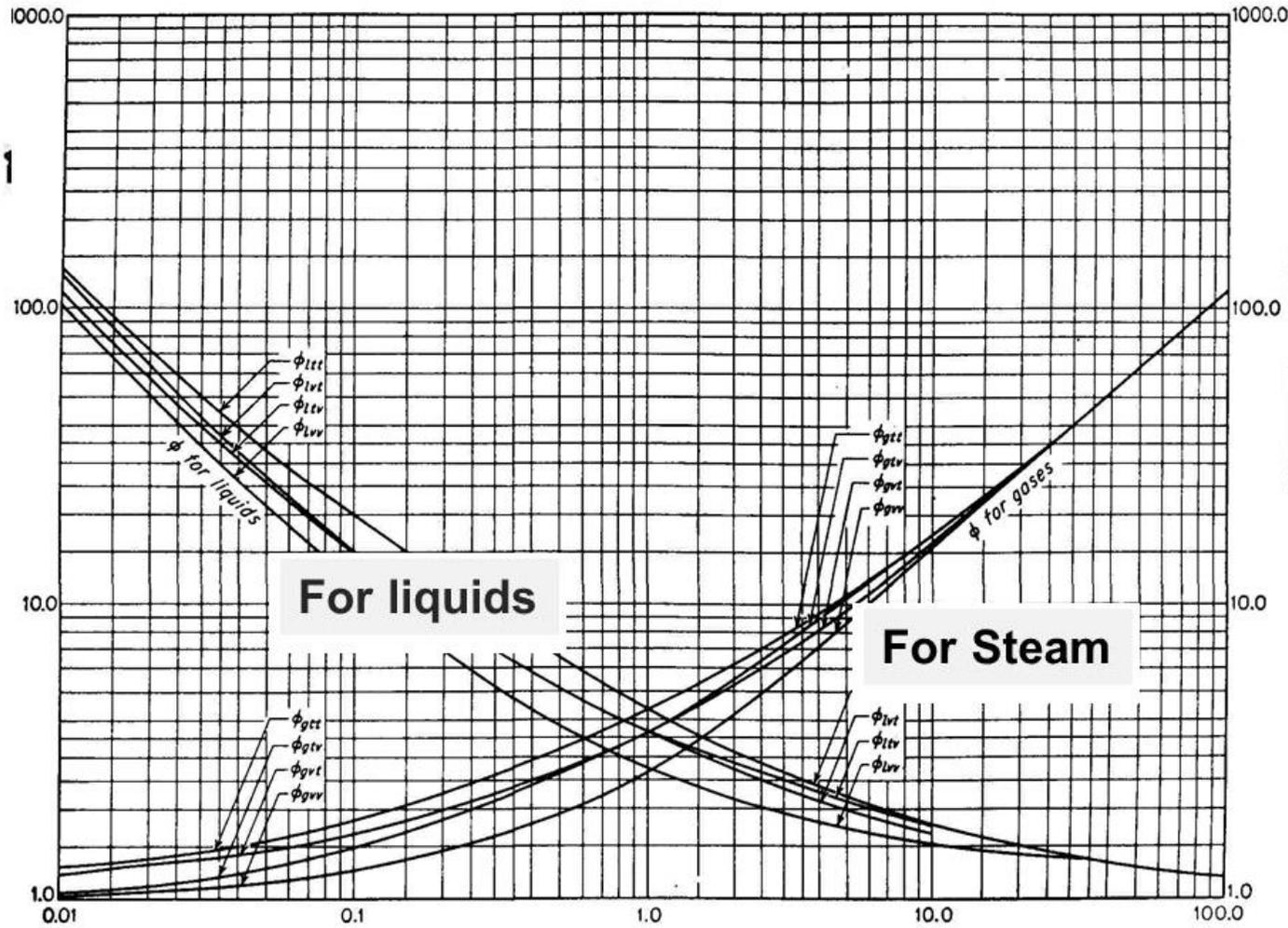
$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_G = \frac{\lambda_g V_{sg}^2}{2 \nu_g D}$$

8. Hitung faktor pengali:  $X = \left[ \frac{(dp/dz)_L}{(dp/dz)_G} \right]^{0.5}$

9. Tentukan  $\phi$  dari korelasi

### Flow and Compression Calculations

$$\text{Parameter } \phi = \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{TP} / \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{L \text{ or } G}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{TP}}{\Delta P_{L \text{ or } G}}}$$



$$\text{Parameter } X = \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_L / \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_G} = \sqrt{\frac{\Delta P_L}{\Delta P_G}}$$

$$\text{Parameter } \phi = \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{TP} / \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{L \text{ or } G}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{TP}}{\Delta P_{L \text{ or } G}}}$$

## PROSEDURE PERHITUNGAN METODA LOKHART MARTINELLI (Cont'd)



10. Hitung kehilangan tekanan dua fasa :

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{TP} = \phi^2 \left(\frac{dp}{dz}\right)_{GatauL}$$

11. Hitung kehilangan tekanan karena gravitasi

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_g = \bar{\rho} g \sin \theta$$

12. Hitung kehilangan tekanan total

$$\frac{dp}{dz} = \left[ \left(\frac{dp}{dz}\right)_{TP} + \left(\frac{dp}{dz}\right)_g \right] x z$$

13. Hitung tekanan dititik 2

**METODA  
BEGGS & BRILL**



# Metoda Beggs & Brill

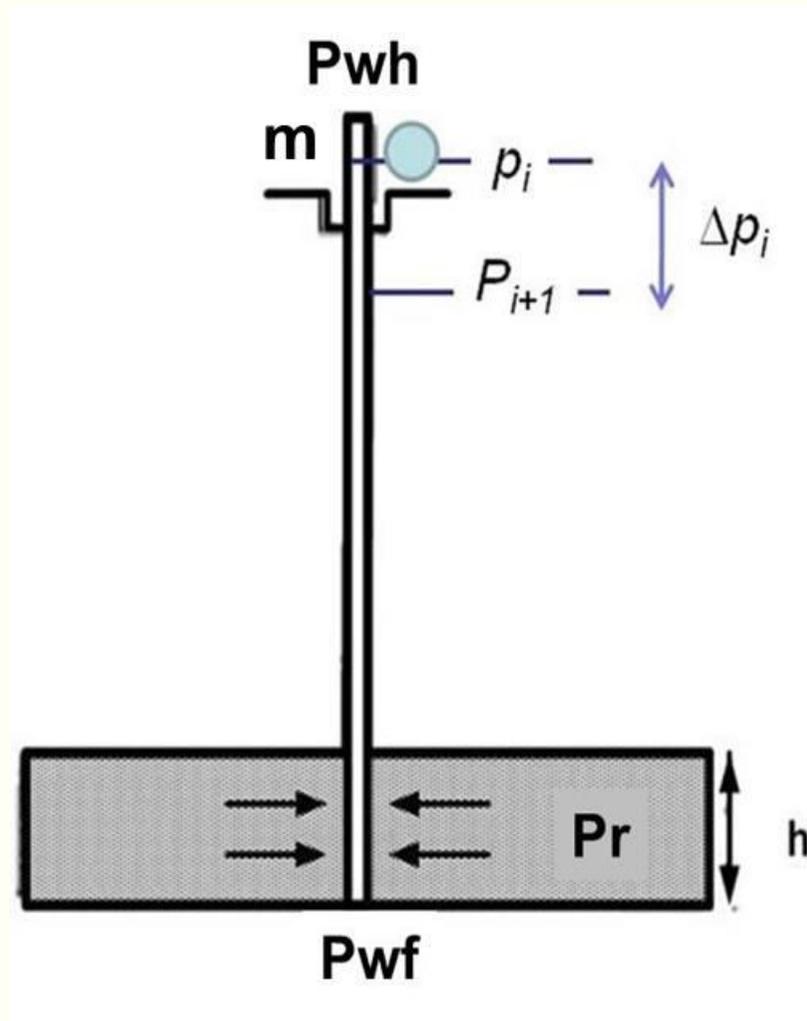
---

## Referensi:

- ❖ Ashat, A.M. 1997. “ *Pembuatan simulator untuk Perhitungan Kehilangan Tekanan pada Pipa Alir Dua Fasa Panas Bumi.*” Tugas Akhir Sarjana. Bandung : Jurusan Teknik Perminyakan ITB.
- ❖ Taha Maulana dan Nenny Miryani Saptadji (2012): Estimasi Kedalaman Terbentuknya Scale di Dalam Sumur Panas Bumi Dominasi Air, Proceedings the 12<sup>TH</sup> Annual Indonesian Geothermal Association Meeting & Conference, Bandung, 6-8 November, 2012.

# Metoda Beggs & Brill

---



- ❖ Jika dari uji produksi diketahui pada tekanan alir kepala sumur  **$P_{wh}$**  atau **WHP**, laju alirnya  **$m$** , maka dapat diprediksi atau dihitung tekanan alir di dalam sumur hingga di dasar sumur ( **$P_{wf}$** ).
- ❖ Perhitungan dilakukan dari atas ke bawah atau *top down*):

# Metoda Beggs & Brill

---

## Gradien Tekanan karena Friksi

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_f = f_{tp} \rho_n \frac{V_m^2}{2 dh}$$

## Gradien Tekanan karena Percepatan

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_a = \frac{\rho_s V_m V_{sg}}{P} \left(\frac{dp}{dz}\right)_t$$

## Gradien tekanan karena perubahan ketinggian

$$\left(\frac{dP}{dL}\right)_{el} = \frac{g}{gc} \rho_{tp} \sin\theta$$

# Metoda Beggs & Brill

---

Pola aliran ditentukan berdasarkan besaran tak berdimensi  $N_{fr}$  dan  $N_{lv}$ , serta  $L_1$  dan  $L_2$

- Liquid velocity number:  $N_{lv} = V_{sl} \left( \frac{\rho l}{g \sigma} \right)^{1/4}$
- Froude Number:  $N_{fr} = \frac{V_m^2}{g dh}$
- $L_1 = \text{Exp} ( -4.62 - 3.757 K - 0.481 K^2 - 0.207 K^3 )$
- $L_2 = \text{Exp} ( 1.061 - 4.602 K - 1.609 K^2 - 0.179 K^3 + 0.635 \times 10^{-3} K^5 )$

Dimana:  $K = \text{Ln} (\lambda)$  dan  $\lambda = \frac{V_{sl}}{V_m}$

$$V_m = V_{sl} + V_{sg}$$

## Metoda Beggs & Brill

---

*Beggs & Brill* membagi pola aliran fluida atas tiga pola aliran sbb:

- Pola aliran *Segregated*, bila:

$$N_{fr} < L_1$$

- Pola aliran *Distributed*, bila:

$$N_{fr} > L_1 \text{ dan } N_{fr} > L_2$$

- Pola aliran *Intermittent*, bila:

$$L_1 < N_{fr} < L_2$$

# Metoda Beggs & Brill

---

**Siapkan**

Data: WHP,  $m$ ,  $h$  dan geometri sumur

**Tetapkan**

$P_1 = WHP$ . Perkirakan harga  $\Delta P$ .

**Hitung**

Tekanan rata-rata

**Tentukan**

$T_s$ , enthalpy, densitas, visk air dan uap

**Hitung**

Dryness,  $m_{\text{uap}}$  dan  $m_{\text{air}}$

**Hitung**

Kecepatan superficial:  $V_{sl}$  dan  $V_{sg}$

# Metoda Beggs & Brill

---

Hitung

Laju alir massa air, uap, campuran uap air

Hitung

*No-slip holdup*

Hitung

$N_{fr}$ , Viskositas ( $\mu_m$ ), tegangan perm ( $\sigma$ )

Hitung

$N_{fr} \cdot N_{lv}$ ,  $L_1$  dan  $L_2$

Hitung

Pola aliran berdasarkan nilai  $L_1$ ,  $L_2$  dan  $N_{fr}$

Hitung

*Vertical liquid holdup ( $H_l$ )*

Hitung

Densitas dua fasa ( $\rho_{tp}$ )

# Metoda Beggs & Brill

---

## Gradien Tekanan karena Friksi

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_f = f_{tp} \rho_n \frac{V_m^2}{2 dh}$$

## Gradien Tekanan karena Percepatan

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_a = \frac{\rho_s V_m V_{sg}}{P} \left(\frac{dp}{dz}\right)_t$$

## Gradien tekanan karena perubahan ketinggian

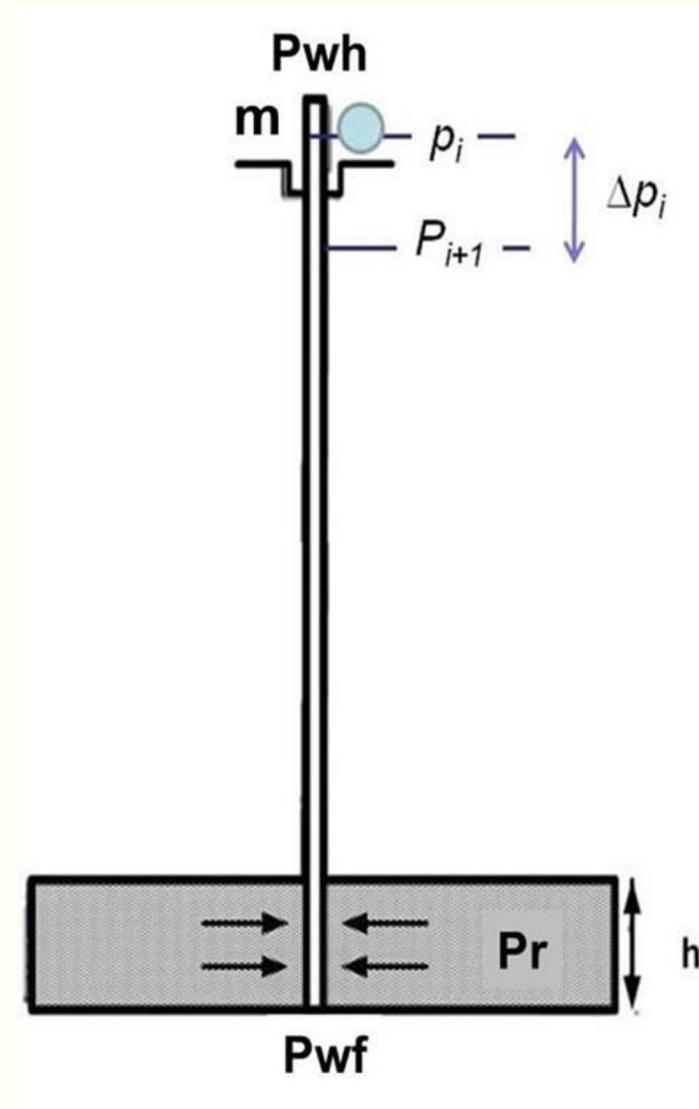
$$\left(\frac{dP}{dL}\right)_{el} = \frac{g}{gc} \rho_{tp} \sin\theta$$

# Metoda Beggs & Brill

## Gradien Tekanan Total

Gradien tekanan total merupakan gabungan gradien tekanan sebagai pengaruh friksi, elevasi (ketinggian), dan akselerasi (percepatan)

$$\frac{\Delta P}{\Delta Z} = \frac{\frac{g\rho_{tp}}{g_c} \sin \theta + \frac{f_{tp} G_m V_m}{2g_c d}}{1 - \frac{\rho_{tp} V_m V_{sg}}{g_c P}}$$





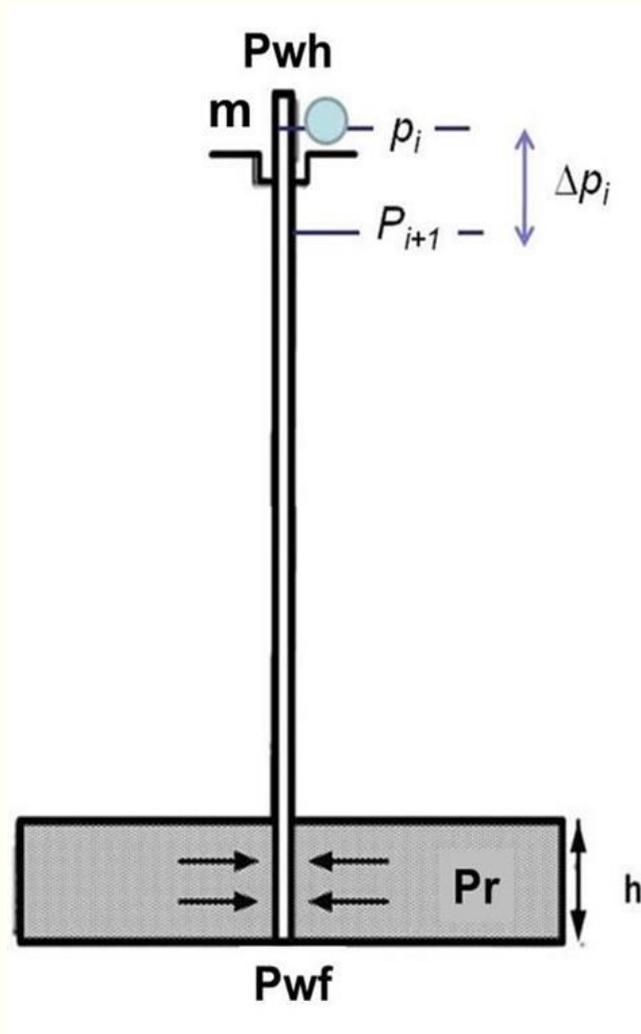
# Contoh Penggunaan Metoda Beggs & Brill

Dimas Taha Maulana dan Nenny Miryani Saptadji (2012):

## **ESTIMASI KEDALAMAN TERBENTUKNYA SCALE DI DALAM SUMUR PANAS BUMI DOMINASI AIR**

Proceedings The 12<sup>th</sup> Annual Indonesian Geothermal Association Meeting & Conference, Bandung, 6-8 November, 2012.

## Data Masukan Simulator (Dimas Taha & Nenny Saptadji, 2012)



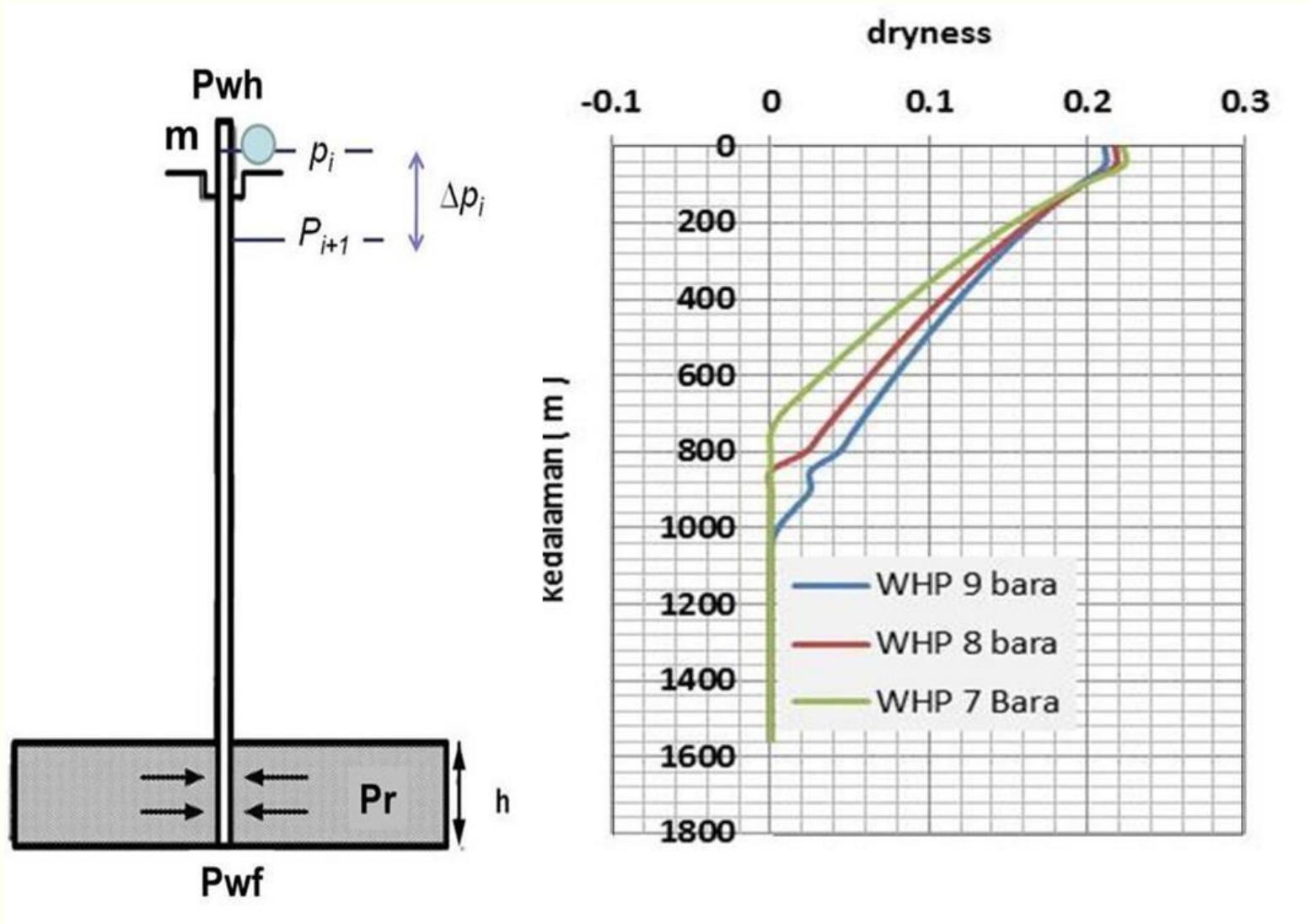
Nenny Saptadji ITB

Data Masukan		
Lajur Alir Massa	:	<input type="text"/> kg/s
WHP/BHP	:	<input type="text"/> bara
Enthalpy	:	<input type="text"/> Kj/Kg
Temperature	:	<input type="text"/> Celcius
Depth increase	:	<input type="text"/> meter
Kedalaman casing	:	<input type="text"/> meter
Diameter casing	:	<input type="text"/> in
Diameter Liner	:	<input type="text"/> in
Kedalaman Liner	:	<input type="text"/> meter
Diameter perf Liner	:	<input type="text"/> in
Kedalaman perf Liner	:	<input type="text"/> meter
<input type="button" value="RUN"/>		
<input type="button" value="CLEAR"/>		

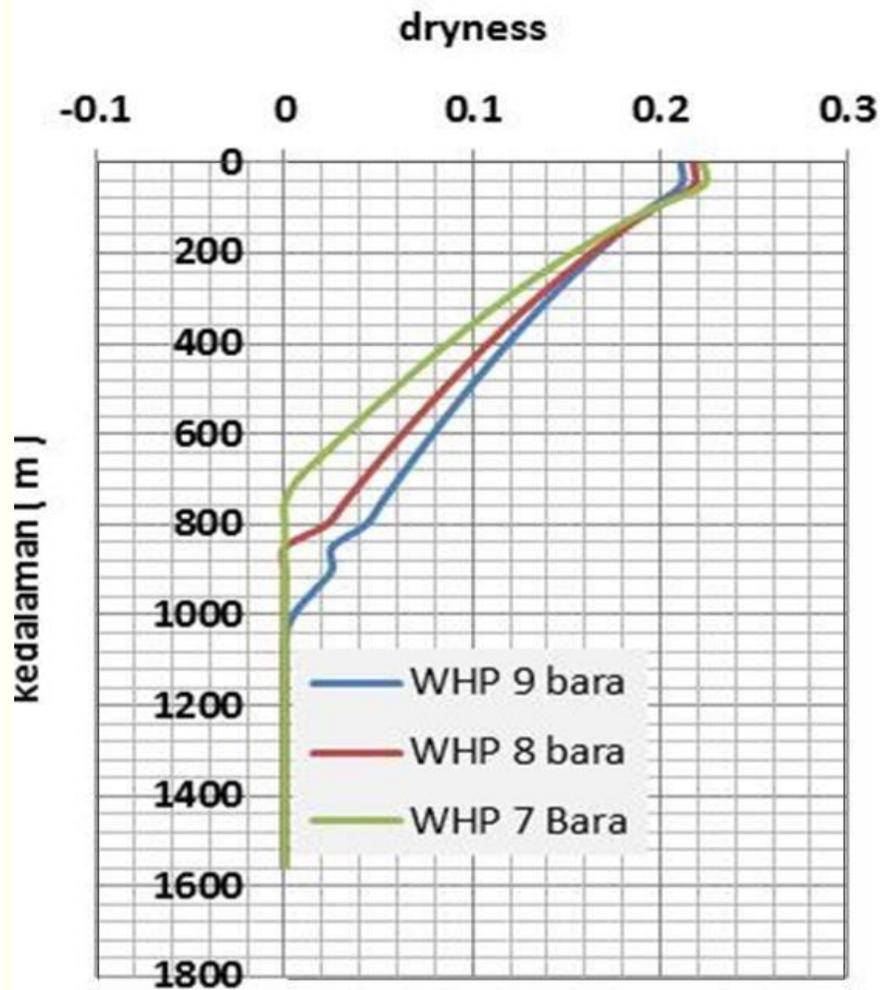
## Data Keluaran Simulator (Dimas Taha & Nenny Saptadji, 2012)

Kedalaman (m)	Tekanan (bara)	Temperatur (°C)	Pola Aliran	Fraksi Uap
0	7.67	175.6	segregated	0.219
50	10.48	175.6	segregated	0.219
100	13.29	187.5	segregated	0.197
150	16.11	197.4	segregated	0.177
200	18.92	205.8	segregated	0.160
250	21.74	213.3	segregated	0.144
300	24.55	220.03	segregated	0.129
350	27.36	226.13	segregated	0.115
400	30.18	231.74	segregated	0.102
450	32.99	236.94	distributed	0.090
500	35.80	241.79	distributed	0.078
550	38.62	246.35	distributed	0.065

# Contoh Hasil Simulasi

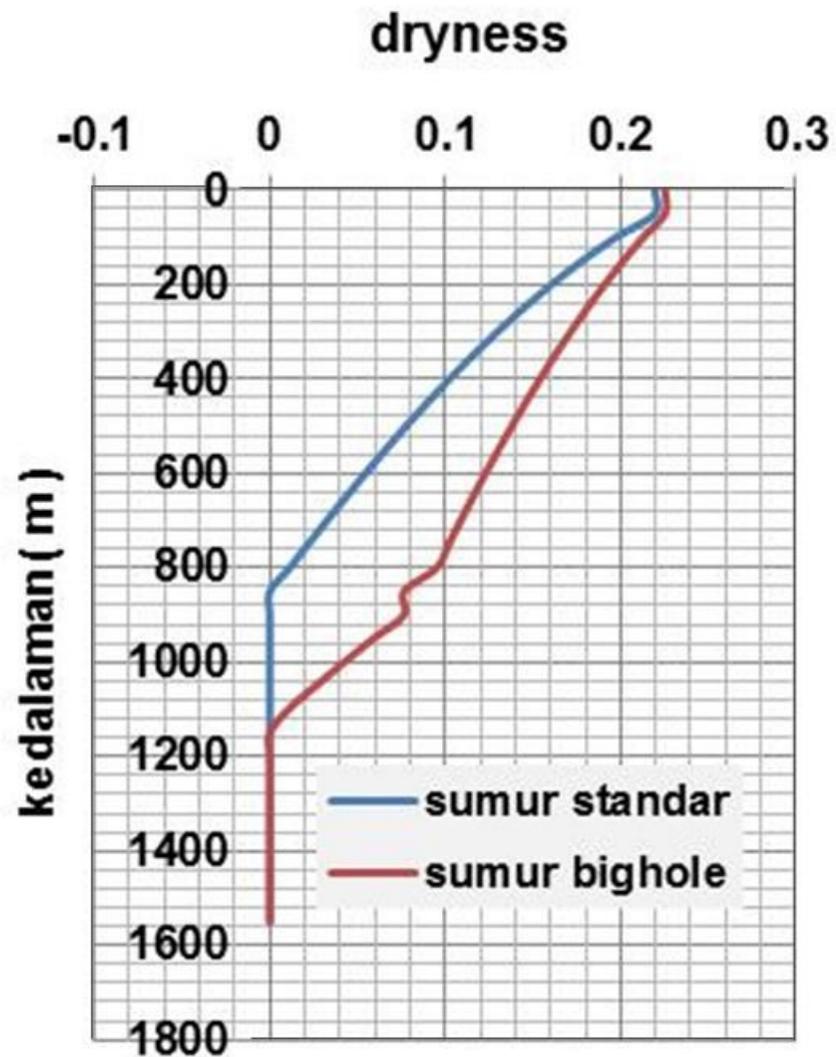
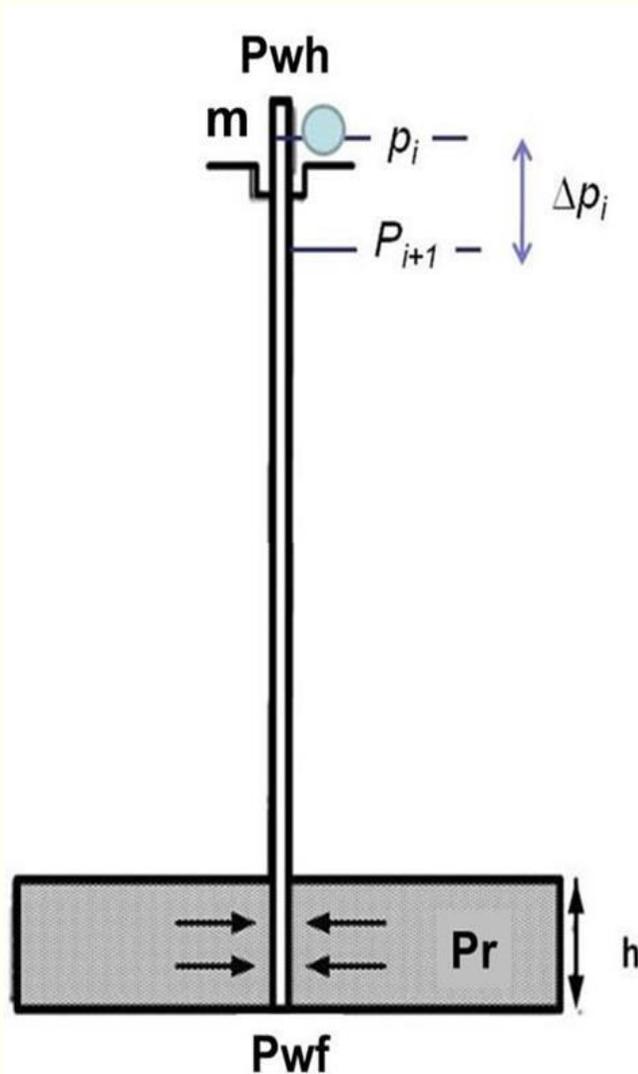


# Contoh Hasil Simulasi



- Perubahan fraksi uap di dalam sumur pada beberapa tekanan kepala sumur.
- Kedalaman terjadinya Flashing, diperkirakan sebagai kedalaman dimana terjadi scaling

# Contoh Hasil Simulasi

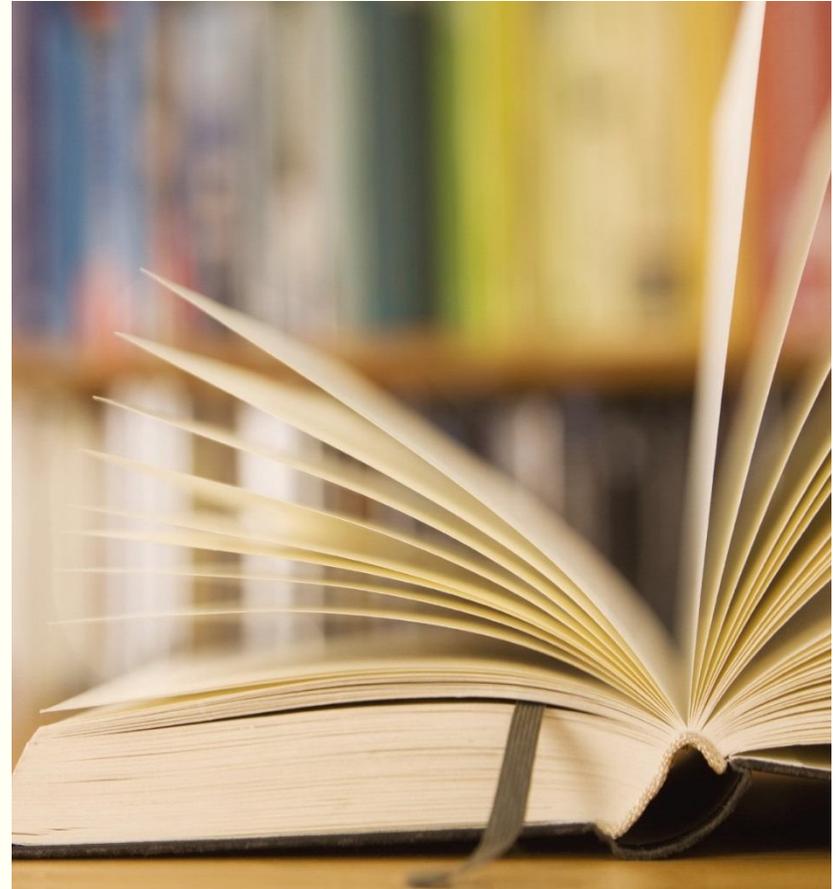




---

# **DRIFT-FLUX MODEL**

**Hasan dan Kabir  
(2010).**



# *Drift-flux* Model



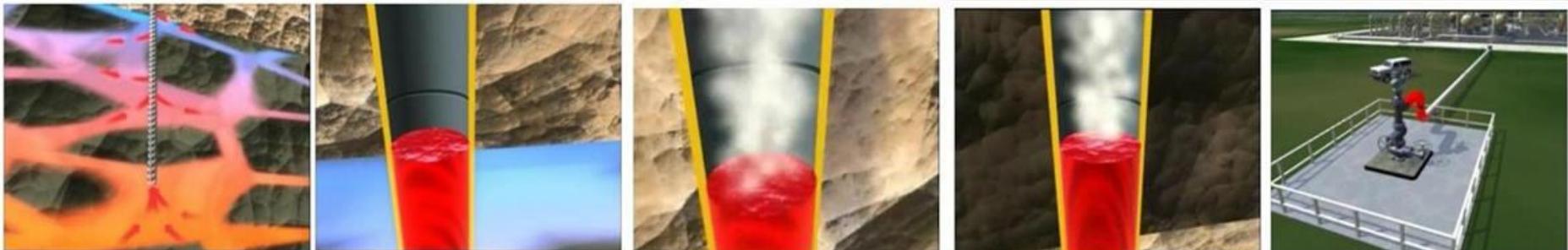
- ❖ Konsep *drift-flux* pertama kali diperkenalkan oleh Zuber & Findlay (1965) dan banyak dimodifikasi oleh peneliti-peneliti lain, antara lain oleh Hasan dan Kabir (2010).
- ❖ Model *drift-flux* berbeda dengan model *Homogenous* yang mengasumsikan bahwa uap dan air bergerak dalam kecepatan yang sama.
- ❖ Dalam *drift-flux* model, perbedaan kecepatan uap dan air diperhitungkan (uap dan air mengalir tidak dengan kecepatan yang sama).

# Drift-flux Model



Untuk memperhitungkan adanya perbedaan kecepatan uap dan air dan dalam model ini digunakan parameter-parameter sebagai berikut:

- ❖ Kecepatan superficial
- ❖ Kecepatan in-situ
- ❖ Kecepatan slip
- ❖ Void Fraction
- ❖ Liquid Holdup



Figures captured from CalEnergy's video

## ***Kecepatan Superficial***

Kecepatan *superficial* merupakan kecepatan masing-masing fasa uap dan fasa cair jika mengalir sendiri-sendiri di dalam pipa. Kecepatan ini didefinisikan sebagai

$$v_{sl} = \frac{m_l}{\rho_l A} \qquad v_{sg} = \frac{m_g}{\rho_g A}$$

$$v_m = v_{sg} + v_{sl}$$

Dimana:

$m_l$  adalah laju alir massa fasa cair,

$m_g$  adalah laju alir massa uap,

$\rho_l$  dan  $\rho_g$  adalah densitas fasa air dan fasa uap,

$A$  adalah luas penampang pipa.

## ***Kecepatan In-situ***

Kecepatan *in-situ* merupakan kecepatan sebenarnya fasa uap dan air yang menempati area masing masing, untuk uap  $A_g$  dan untuk air  $A_l$ .

Pada aliran dua fasa, kecepatan ini tidak diketahui dan harus dihitung menggunakan korelasi karena luas yang ditempati setiap fasa tidak diketahui. Jika dibandingkan dengan kecepatan *superficial*, kecepatan *in-situ* nilainya lebih besar.

$$v_l = \frac{m_l}{\rho_l A_l} \qquad v_g = \frac{m_g}{\rho_g A_g}$$

## ***Kecepatan Slip***

Pada laju alir massa yang sama, kecepatan *in-situ* dari masing-masing massa tidak sama. Uap akan bergerak lebih cepat dibanding air karena memiliki densitas yang lebih kecil.

Kecepatan *slip* didefinisikan sebagai perbedaan antara kecepatan uap dan air.

$$v_s = v_g - v_l$$

## **Void Fraction *dan* Liquid Holdup.**

*Void fraction* adalah fraksi luas pipa yang ditempati oleh uap dan didefinisikan sebagai  $A_g/A_t$ .

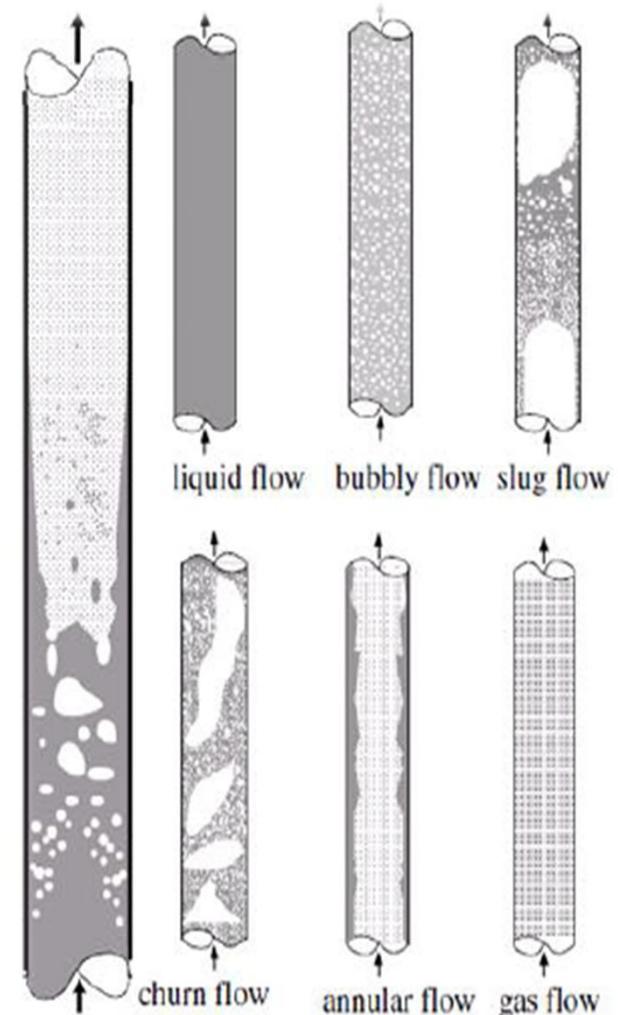
$$f_g = \frac{V_{sg}}{v_g}$$

### ***Liquid holdup***

Liquid holdup didefinisikan sebagai fraksi luas pipa yang ditempati oleh air, nilainya sama dengan  $1-f_g$ , atau dapat dituliskan sebagai berikut.

$$f_l = \frac{V_{sl}}{v_l}$$

- ❖ Nilai **void fraction** ini akan berbeda-beda, tergantung dari pola aliran yang terjadi di lubang sumur: *annular, churn, slug, bubbly, dispersed bubbly*.
- ❖ Di setiap pola aliran, uap akan bergerak lebih cepat dibandingkan dengan air karena adanya *buoyancy effect* dan efek distribusi fasa uap.
- ❖ Untuk gelembung uap, adanya efek ini dinyatakan dengan parameter  **$v_{\infty b}$  (bubble rise velocity)**, sedangkan untuk gelembung yang lebih besar dinyatakan dengan  **$V_{\infty T}$** .

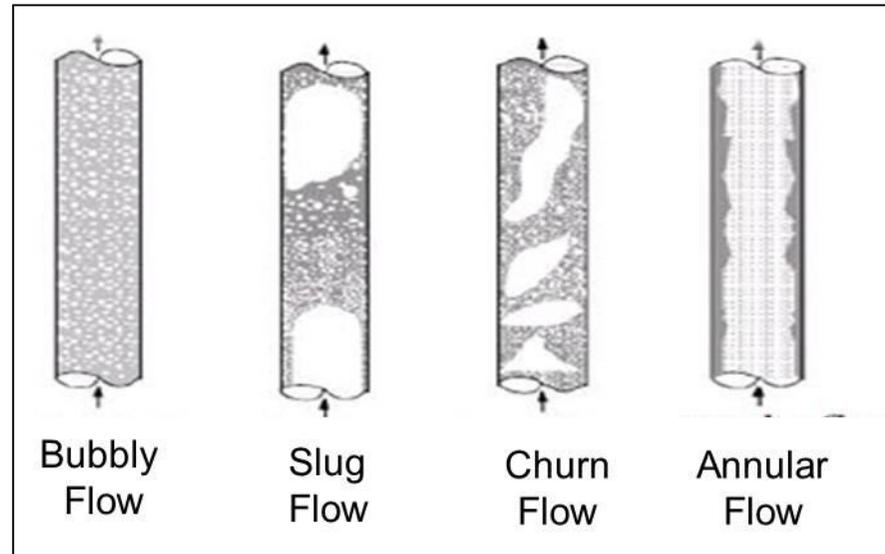


- ❖ Kecepatan *in-situ* fasa uap kemudian dinyatakan dengan menggunakan kedua parameter di atas, sehingga menjadi  $v_g = C_o v_m + v_\infty$ .
- ❖ Maka *void fraction* dapat dinyatakan sebagai berikut

$$f_g = \frac{V_{sg}}{C_o v_m + v_\infty}$$

- ❖ Pola aliran *dispersed bubbly* terjadi ketika  $v_{\infty b} > v_{\infty T}$  dan masih akan bertahan pada  $v_m > v_{ms}$ , dimana:

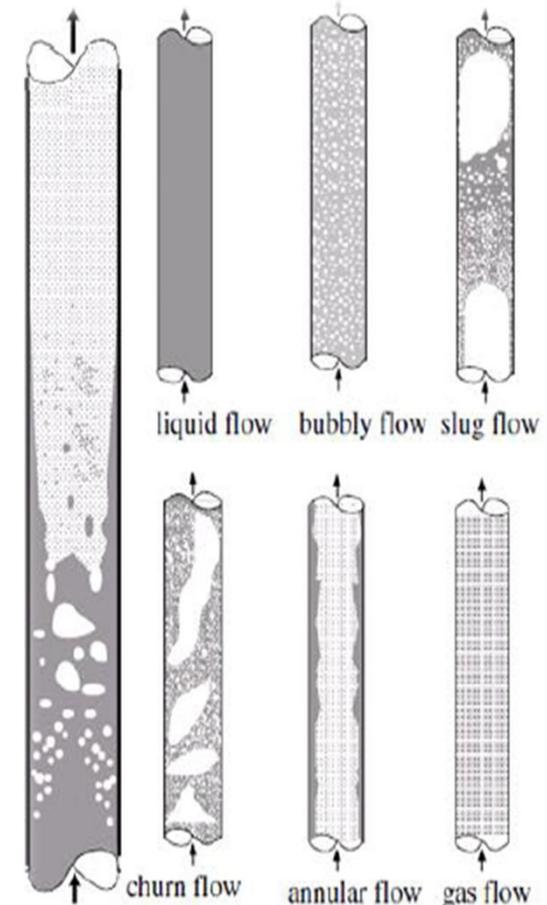
$$0.971 v_{ms}^{1.2} \left(\frac{f}{d}\right)^2 \left(\frac{\rho_l}{\sigma}\right)^{0.6} \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_l - \rho_g)}} = 0.725 + 4.15 \left(\frac{v_{sg}}{v_m}\right)^{0.5}$$



- ❖ Aliran *bubbly* terjadi jika  $f_g < 0.25$  dan  $V_{sg} < V_{gb}$ .
- ❖ Aliran *slug* terjadi ketika  $v_{sg} > 1.08v_{sl}$ ,
- ❖ Aliran *churn* terbentuk ketika  $f_g > 0.52$  dan  $v_{sg} > 1.08v_{sl}$ .
- ❖ Aliran *annular* terjadi pada saat  $f_g$  lebih besar dari 0.7 dan kecepatan *superficial* gas, lebih besar daripada  $v_{gc}$ , yang dirumuskan sebagai:

$$v_{gc} = 3.1 \left[ g\sigma (\rho_l - \rho_g) / \rho_l^2 \right]^{0.25}$$

- ❖ Efek distribusi fasa uap dinyatakan oleh **flow parameter ( $C_o$ )**.
- ❖ Nilai  $C_o$  berada pada rentang 1 – 1.2.
- ❖  **$C_o$  minimum** digunakan jika jumlah fasa uap yang terdistribusi di bagian tengah pipa sama dengan di dinding pipa, seperti pada **aliran annular**.
- ❖ Jika jumlah uap di bagian tengah banyak, sedangkan di dinding pipa jumlahnya sedikit, maka digunakan  **$C_o$  maksimum**, seperti pada aliran **bubbly dan slug**.



Nilai  $C_o$  dan  $v_\infty$  pada masing-masing pola aliran  
(Hasan & Kabir, 2010)

<b>Pola Aliran</b>	<b><math>C_o</math></b>	<b><math>v_\infty</math></b>
Bubbly	1.2	$v_{\infty b}$
Slug	1.2	$\bar{v}_\infty$
Churn	1.15	$\bar{v}_\infty$
Dispersed Bubbly	1.15	$v_{\infty b}$
Annular	1	0

## Perhitungan Gradien Tekanan dengan *Drift-flux* Model Hasan dan Kabir (2010).



- ❖ Model *drift-flux* berbeda dengan model *Homogenous* yang mengasumsikan bahwa uap dan air bergerak dalam kecepatan yang sama. Akan tetapi, persamaan yang digunakan untuk menghitung kehilangan tekanan sama dengan model *Homogenous*.
- ❖ Gradien tekanan, dihitung dengan persamaan

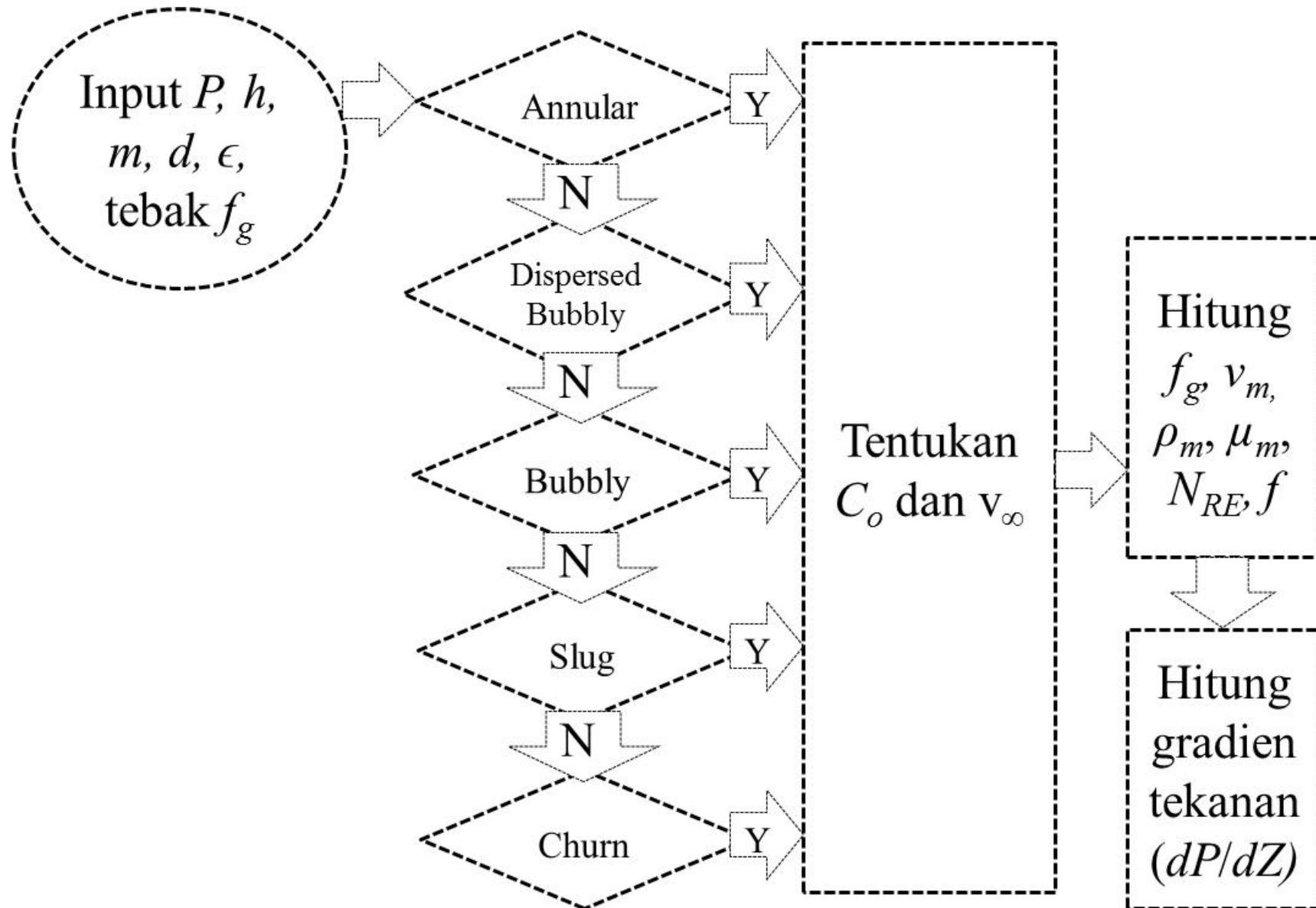
$$\frac{dP}{dz} = \frac{\rho_m g \cos\theta + \frac{f \rho_m v_m^2}{2d}}{1 - \frac{\rho_m v_m^2}{\bar{P}}}$$

# Sifat fluida dua fasa dalam *Drift-flux* Model



Perbedaannya dengan homogenous model, dalam drift-flux model, densitas campuran dan viskositas campuran merupakan fungsi dari void fraction ( $f_g$ )

- Densitas campuran  $\rho_m = f_g \rho_g + (1 - f_g) \rho_l$
- viskositas campuran  $\mu_m = f_g \mu_g + (1 - f_g) \mu_l$
- Kecepatan:  $v_m = v_{sg} + v_{sl}$

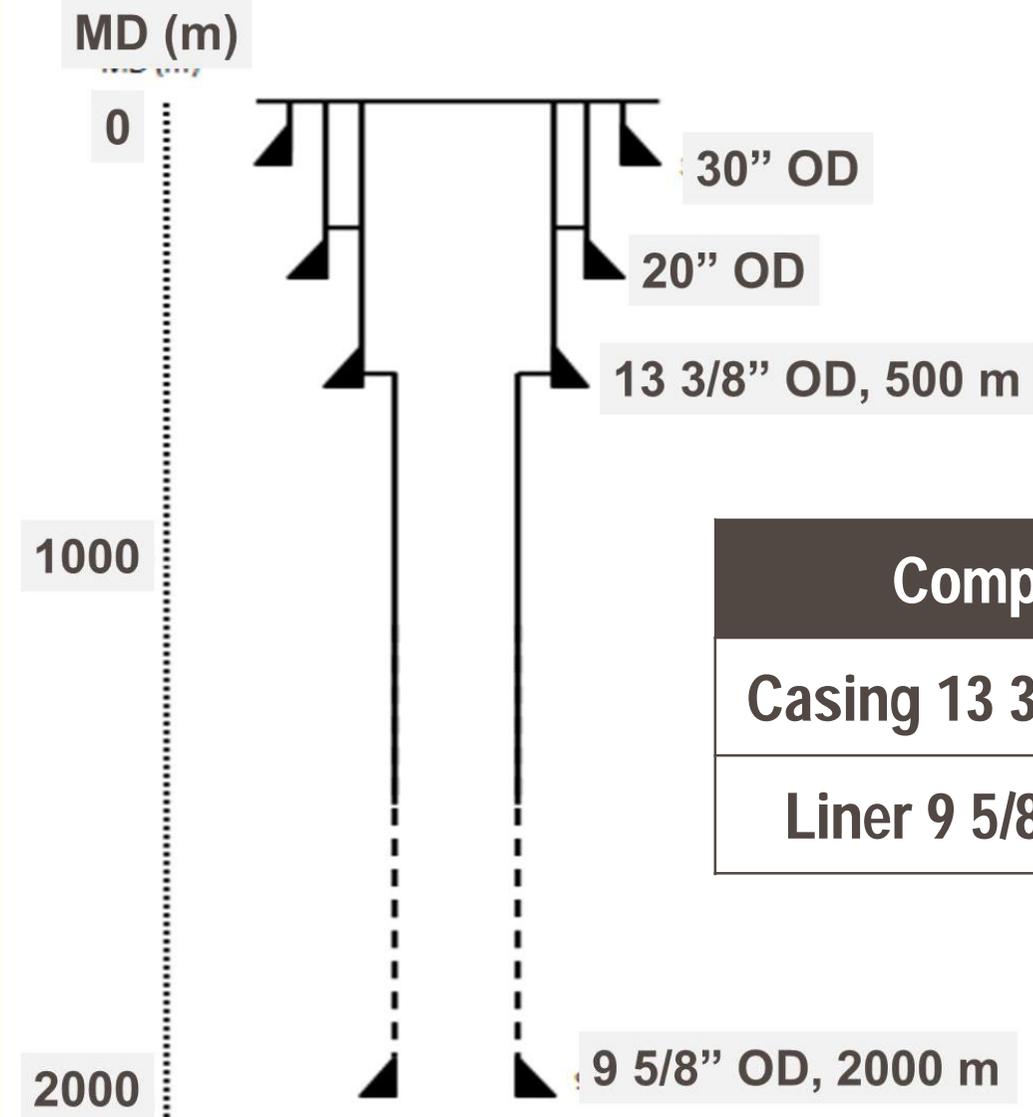




# Contoh Penggunaan Drift Flux Model dari Hasan and Kabir (2010)

Stefanus Kusuma Adityawan, Nenny Miryani Saptadji dan Ali Ashat (2013):  
**THE DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL FOR  
PREDICTING SULFIDE SCALING IN GEOTHERMAL WELL**  
Proceedings, 13th Indonesia International Geothermal Convention &  
Exhibition 2013, Assembly Hall - Jakarta Convention Center  
Indonesia, June 12 – 14, 2013

# WELL DATA



Completion of Well A	
Casing 13 3/8" OD	12.415" ID
Liner 9 5/8" OD	8.618" ID

# WELL DATA

---

---

<b>Production Data of Well A</b>		
<b>Static Pressure @ 2000 mVD</b>	<b>150</b>	<b>bara</b>
<b>Static Temp. @ 2000 mVD</b>	<b>300</b>	<b>°C</b>
<b>Bottomhole Pressure</b>	<b>140</b>	<b>bara</b>
<b>Reservoir Fluid Enthalpy</b>	<b>1338</b>	<b>kJ/kg</b>
<b>Mass Flowrate</b>	<b>100</b>	<b>kg/s</b>
<b>Productivity Index</b>	<b>10</b>	<b>kg/s.bar</b>

# WELL DATA

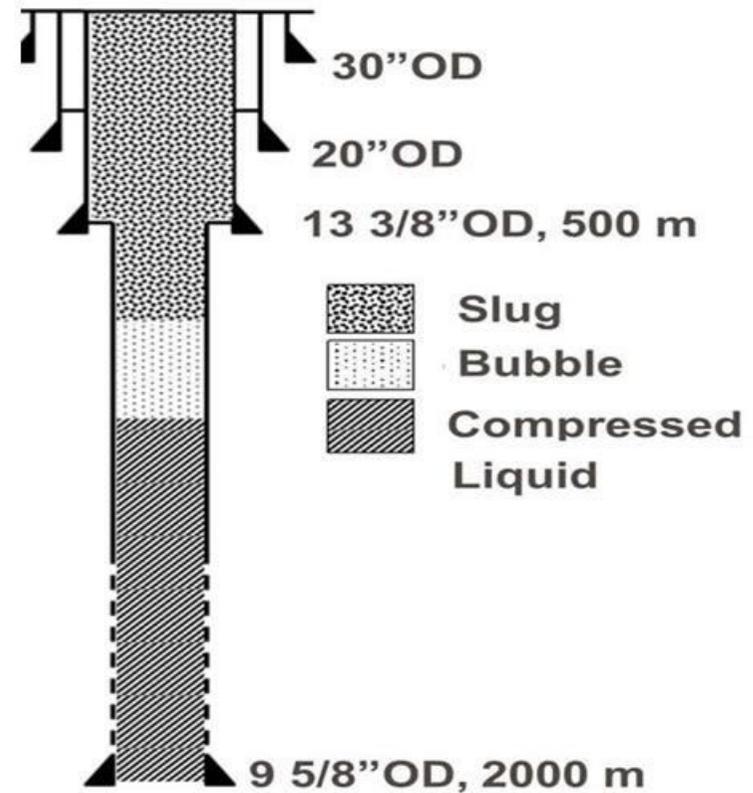
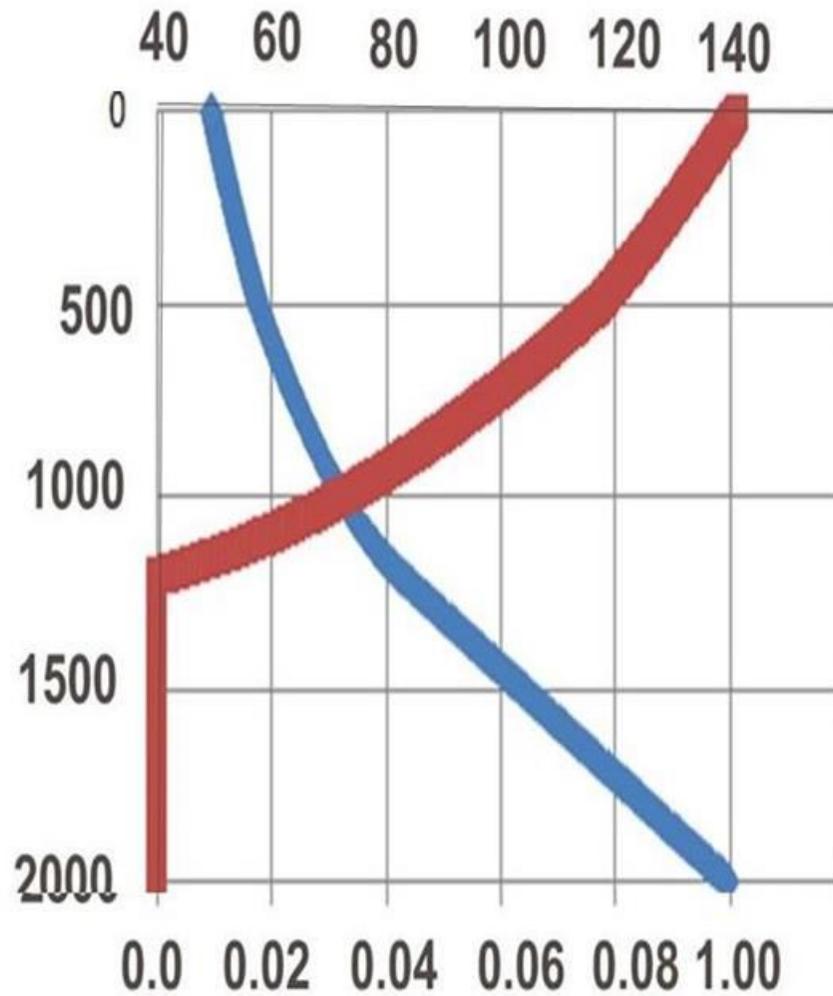
---

---

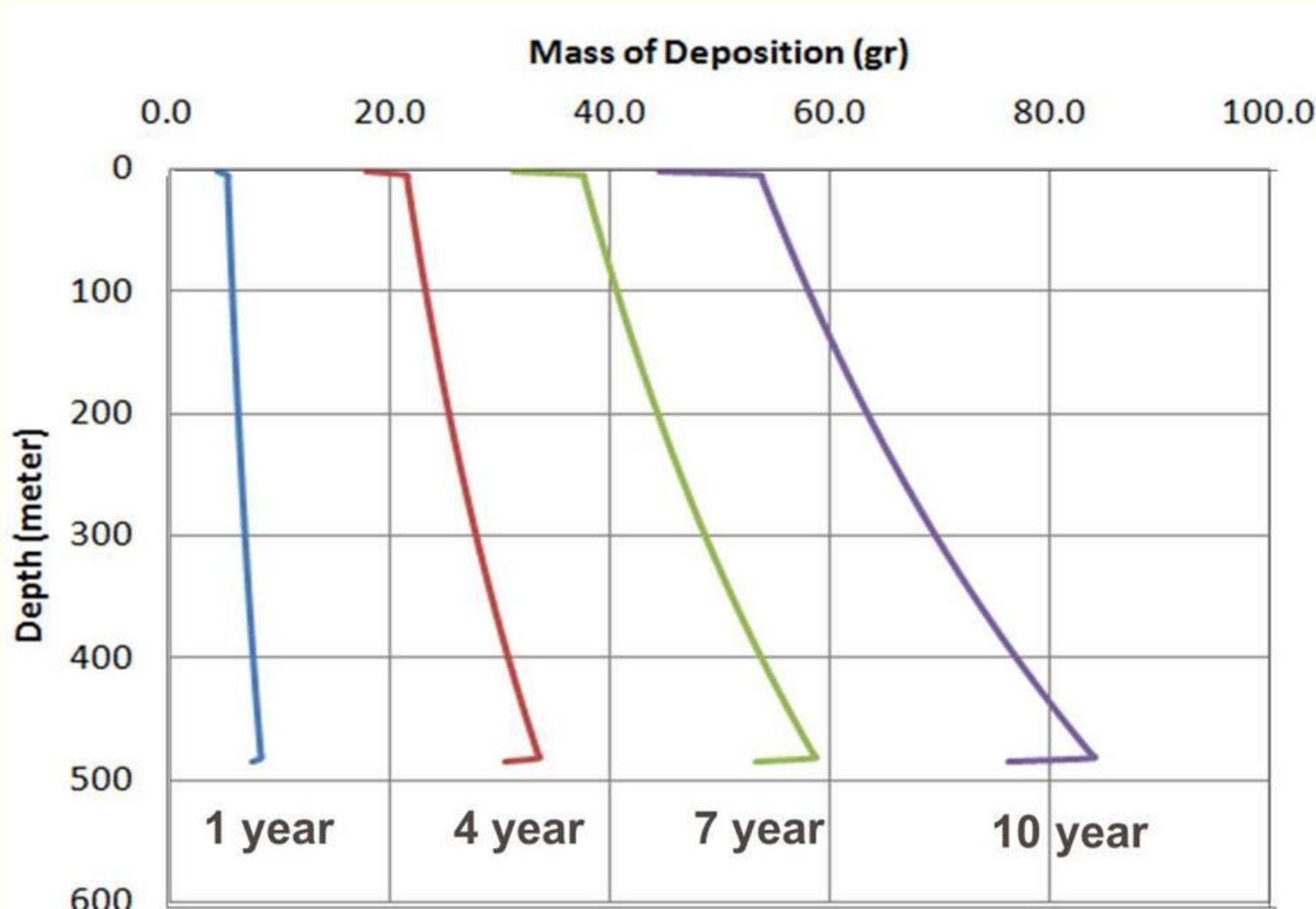
## Chemical Content of the Reservoir Fluid

<b>Pb</b>	<b>0.001</b>	<b>mg/L</b>
<b>Zn</b>	<b>0.0001</b>	<b>mg/L</b>
<b>H<sub>2</sub>S</b>	<b>10</b>	<b>mg/L</b>
<b>pH</b>	<b>4</b>	<b>-</b>

# HASIL SIMULASI SUMUR



# Prediction of Mass of Galena (PbS) with Depth



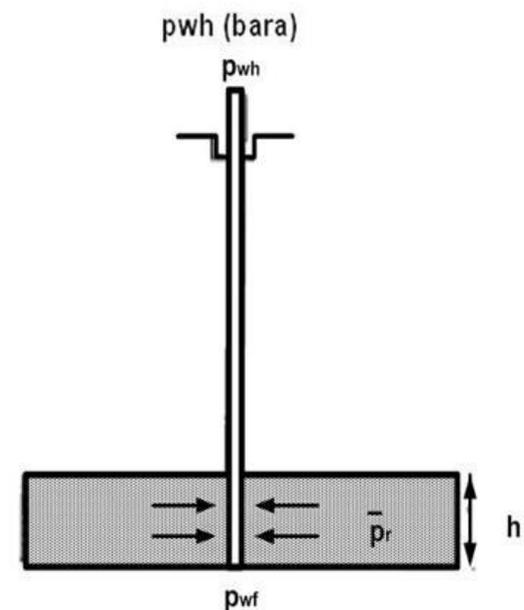
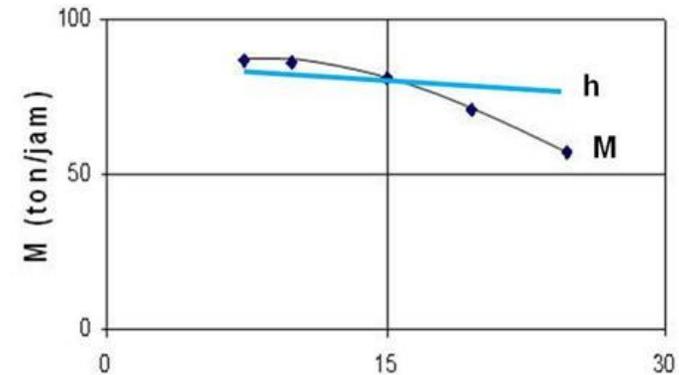
# **SIMULASI SUMUR DUA FASA**



# Tujuan Pemodelan Sumur



- Tujuan pemodelan atau simulasi sumur: Mengembangkan suatu model sumur yang mampu menirukan kemampuan produksi sumur, yang kemudian dapat digunakan untuk memprediksi kemampuan produksi sumur di masa yad atau pada kondisi lain yang berbeda
- Latihan akan dilakukan dengan menggunakan simulator





**Geothermal Graduate Program  
Institut Teknologi Bandung (ITB  
Jl. Ganesa 10 Bandung, 40132 - Indonesia**

**Nenny Saptadji, [neny.saptadji@geothermal.itb.ac.id](mailto:neny.saptadji@geothermal.itb.ac.id)  
Nurita Putri Hardiani, [nurita\\_putri@yahoo.co.uk](mailto:nurita_putri@yahoo.co.uk)  
Heru Berian Pratama, [hb.pratama@gmail.com](mailto:hb.pratama@gmail.com)**

**Terimakasih**