



## Geothermal Reservoir and Production Engineering Knowledge And Skills

# IDENTIFICATION OF RESERVOIR CHARACTERISTICS AND KEY PARAMETERS FROM LOGGING, DOWNHOLE MEASUREMENTS AND WELL COMPLETION

This course was developed within WP 1.04 of the GEOCAP program

Contributors:

- Nenny Saptadji (ITB)
- Nick Buik (IF Technology)
- Sutopo (ITB)
- Auke Barnhoorn (TU Delft)



Geothermal Reservoir and Production Engineering  
Knowledge And Skills

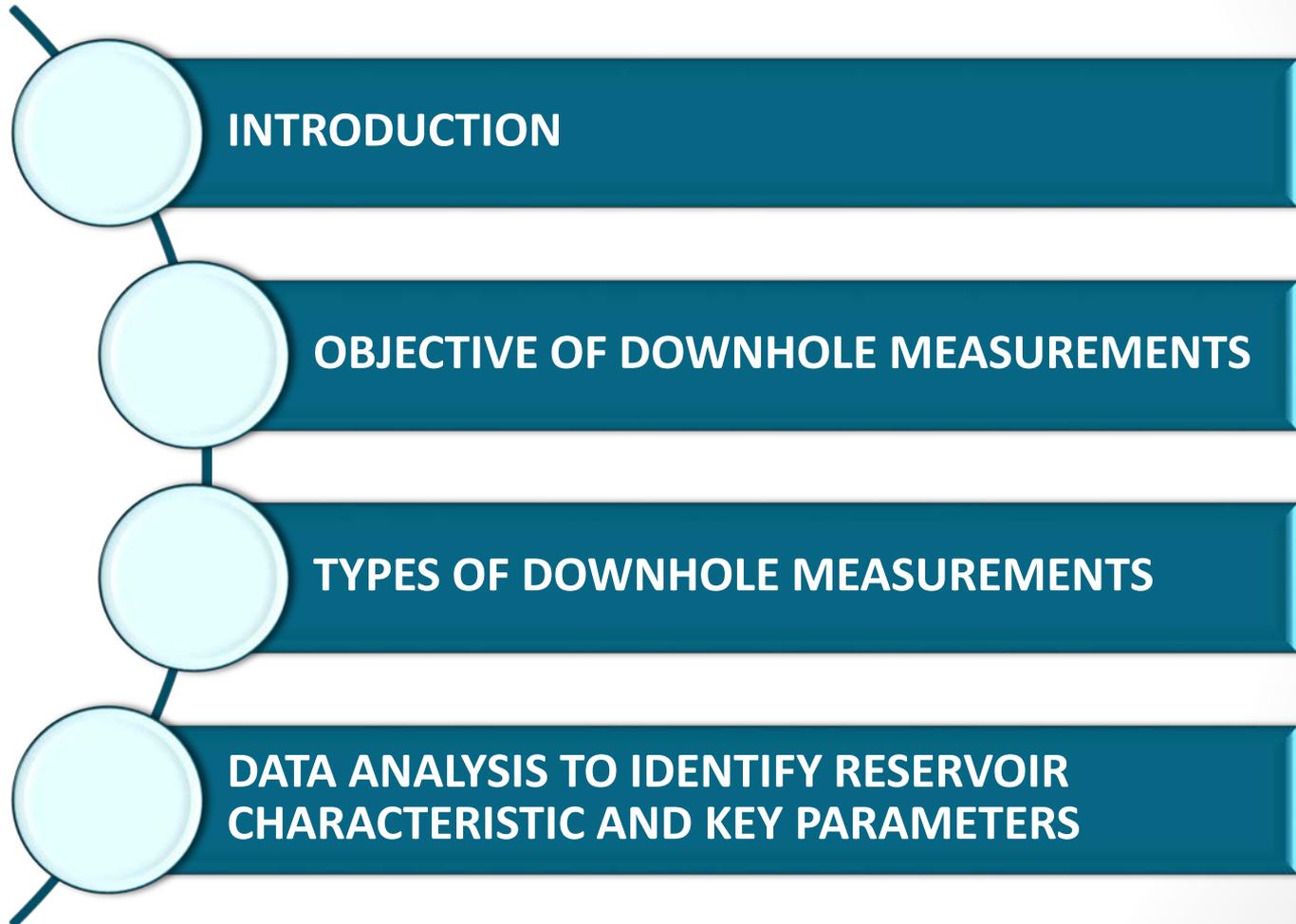
# IDENTIFICATION OF RESERVOIR CHARACTERISTICS AND KEY PARAMETERS FROM LOGGING, DOWNHOLE MEASUREMENTS AND WELL COMPLETION

- Nenny Miryani Saptadji (ITB)
- Sutopo (ITB)
- Nurita Putri Hardiani (ITB)

Course material is in Indonesian Language

November 2014

# OUTLINE

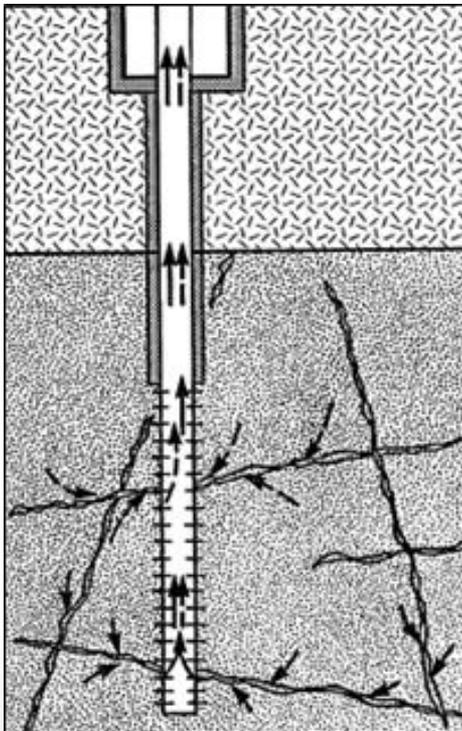


# INTRODUCTION

Well Drilling

Well Logging, Downhole Measurements and Well Completion Test

Well Testing



- **Well logging** adalah upaya untuk mendapatkan rekaman detil di sepanjang lubang sumur
- Melakukan **downhole measurement**: pengukuran atau observasi di sepanjang lubang sumur.
- **Completion Test**: injection test, gross permeability test, fall off test

# OBJECTIVE OF DOWNHOLE MEASUREMENTS

Well Drilling

Well Logging, Downhole  
Measurements and Well  
Completion Test

Well Testing

Untuk mengetahui kondisi sumur sekaligus mempelajari reservoir, antara lain:

- 1) Berapa kedalaman maksimumnya
- 2) Bagaimana kondisi casingnya
- 3) Apakah ada hambatan (obstruction)
- 4) Bagaimana pressure dan temperaturnya
- 5) Kedalaman rekahan (feed zones)
- 6) Productivity index (PI) & injectivity index (II) dari feedzone
- 7) Kontribusi aliran dari masing-masing feedzone.

# TYPES OF DOWNHOLE MEASUREMENTS



- GoDevil Logging
- Calipers Logging
- PT Logging
- PTS Logging
- Downhole Sampling (DHS)

# Go-devils logging

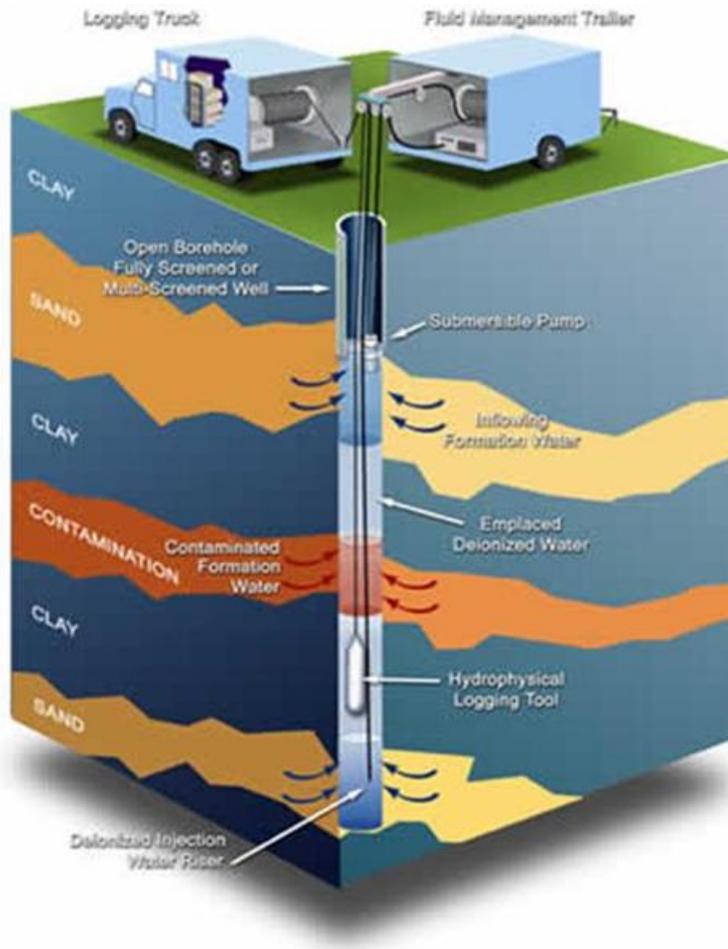


***Go-devils Logging*** adalah alat yang digunakan untuk mengetahui apakah di sumur terjadi kerusakan casing atau terjadi pengendapan mineral atau material-material padat.



Photo Diambil dari Materi Presentasi Robi Irsamukhti, 21 Maret 2013

# Dummy Survey

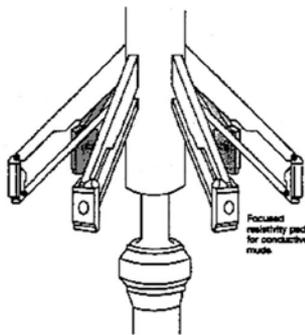


<http://4.bp.blogspot.com>

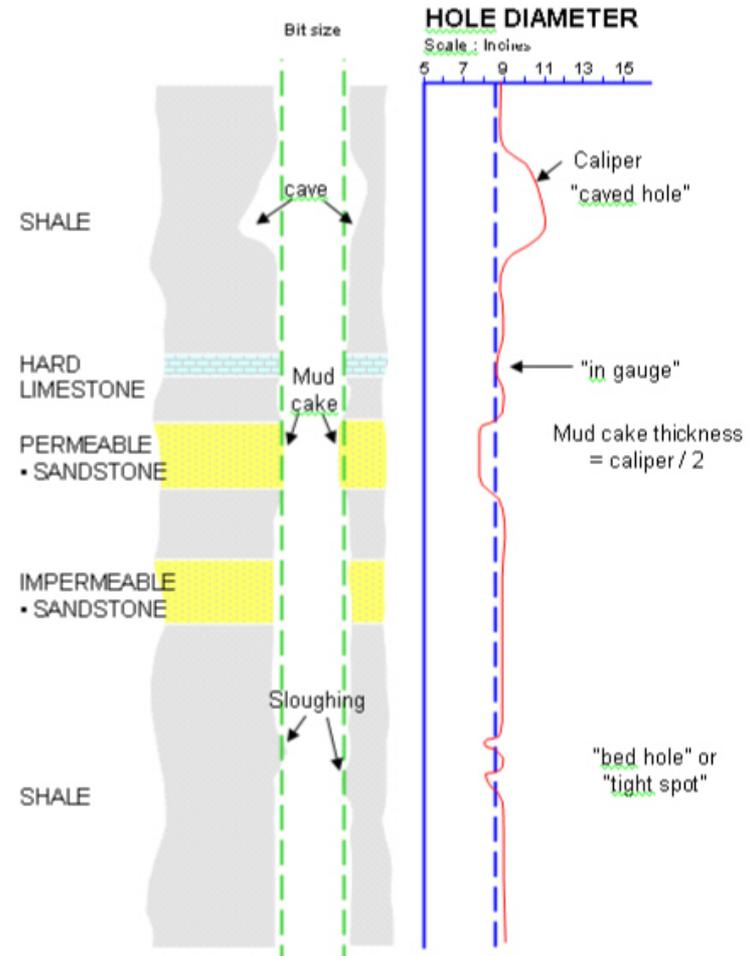
- Umumnya dilakukan saat awal well logging.
- Dummy Survey dilakukan engan menurunkan GoDevil atau sinker bar ke dalam sumur dengan tujuan
  1. Mengetahui Maximum Clear Depth (MCD) sumur tersebut
  2. Mengetahui letak hambatan (obstruction) di lam sumur.
- Biasa diturunkan sebelum melakukan survey yang menggunakan alat logging dengan sensor (harga mahal) seperti Pressure, Temperatur, Spinner, Caliper survey , sehingga resiko kehilangan alat di lubang sumur (fish) dapat dikurangi

# Caliper Logging

- Tujuan : untuk memeriksa bagian dalam casing (ukuran dan bentuk lubang)
- Caliper logging dilakukan setelah dummy survey
- Memiliki fingers yang dapat dibuka seperti payung



<http://www.petrolog.net>



<http://www.petroleum-engineering.net>

- Saat pengujian data disimpan dalam memory tool dan dibaca setelah alat dikeluarkan dari dalam sumur

# PT Logging

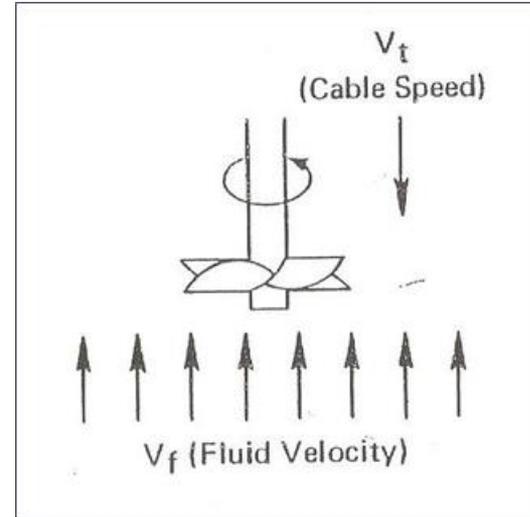


Sumber : Pertamina Kamojang



- Tujuan: untuk mendapatkan landaian tekanan dan landaian temperatur di dalam sumur
  - Hingga tahun 1990-an, instrumen yang digunakan adalah alat ukur tekanan dan temperatur yang bekerja secara mekanis (*mechanical recording temperature & pressure gauges*) yang memiliki kemampuan untuk mengukur 15-20 data per survey.
  - Kemajuan teknologi telah menghasilkan peralatan untuk pengukuran di dalam lubang sumur yang dapat diandalkan dan mempunyai ketelitian yang tinggi.
- ➔ Electronic down hole instruments

# PTS Logging

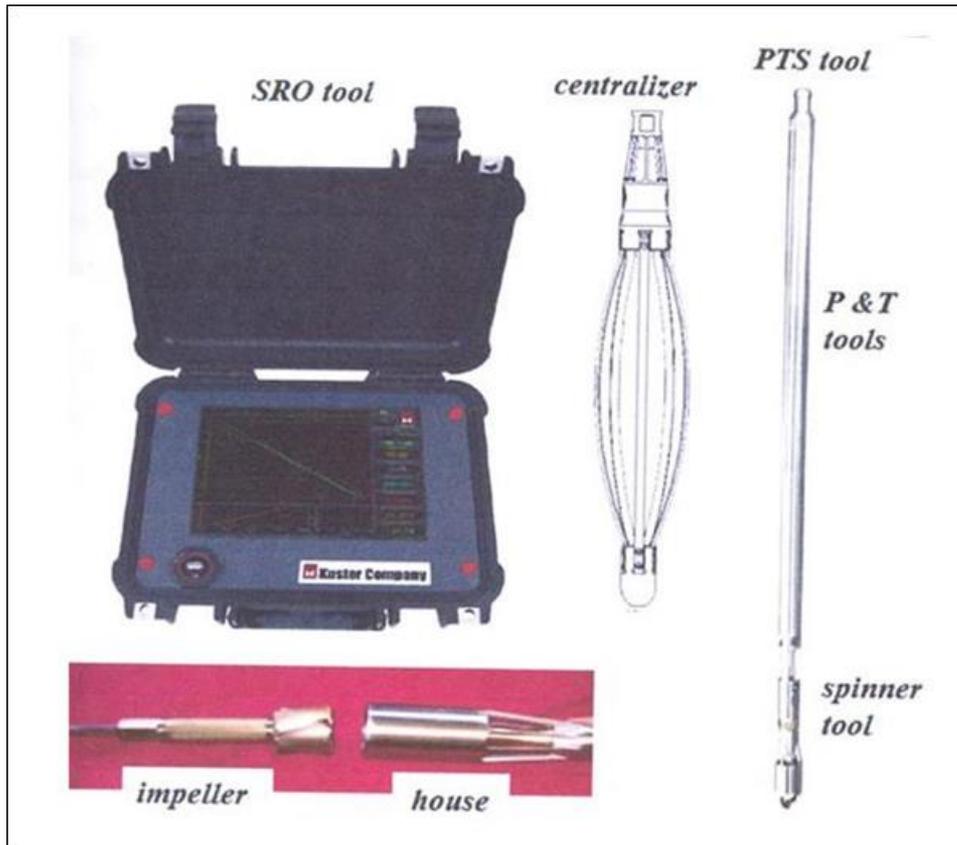


- Sejak pertengahan tahun 1980 tersedia berbagai *PTS (pressure-temperature-spinner)* instruments yang dapat beroperasi pada temperatur tinggi.
- Survei PTS bertujuan untuk mengukur tekanan, temperatur dan kecepatan fluida sepanjang lubang sumur
- Spinner adalah wireline tool dengan baling-baling yang berputar bila ada fluida yang mengalir melewatinya.

# PTS Logging

- Analisa PTS diharapkan dapat memberikan informasi mengenai:
  1. Lokasi feedzone
  2. Productivity index (PI) dan injectivity index (II) tiap feedzone
  3. Kontribusi aliran dari tiap feedzone
- Survei PTS dapat dilakukan baik pada sumur dalam keadaan injeksi, produksi (flowing) maupun saat ditutup (shut in)

# Peralatan PTS Tool



K10 Geothermal PTS beserta SRO Tool  
(Kuster Company PTS Operation & Service Manual)  
Diambil dari Jantiur Situmorang, 2012

- Dalam rangkaian *PTS tool*, spinner diletakkan paling bawah dimana didalamnya terdapat *impeller* yang dibungkus oleh *impeller house*.
- Tepat di atas spinner diletakkan *pressure & temperature tool*.
- Untuk mempertahankan posisi *PTS tool* berada di tengah-tengah pipa, maka alat dilengkapi dengan *centralizer*.

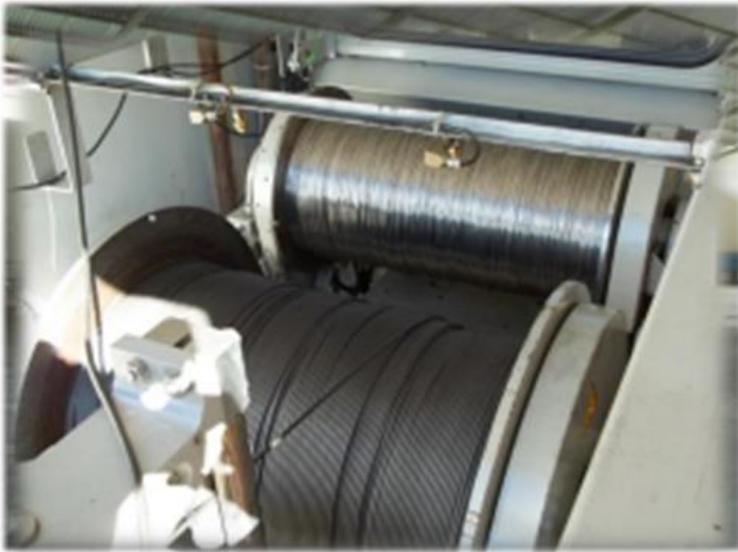
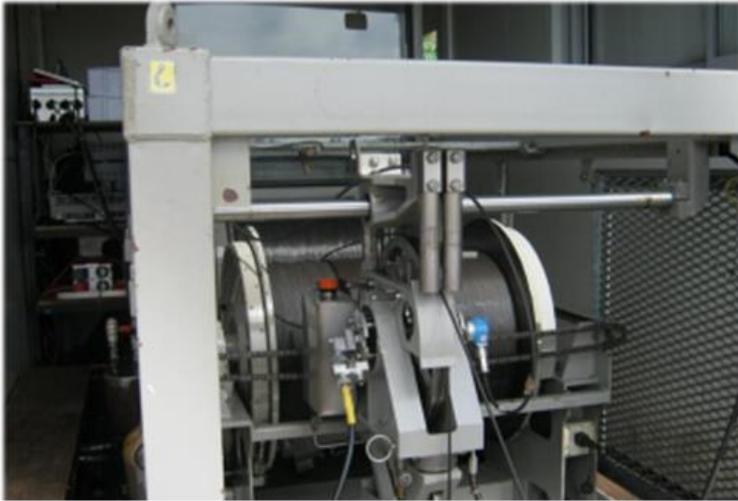
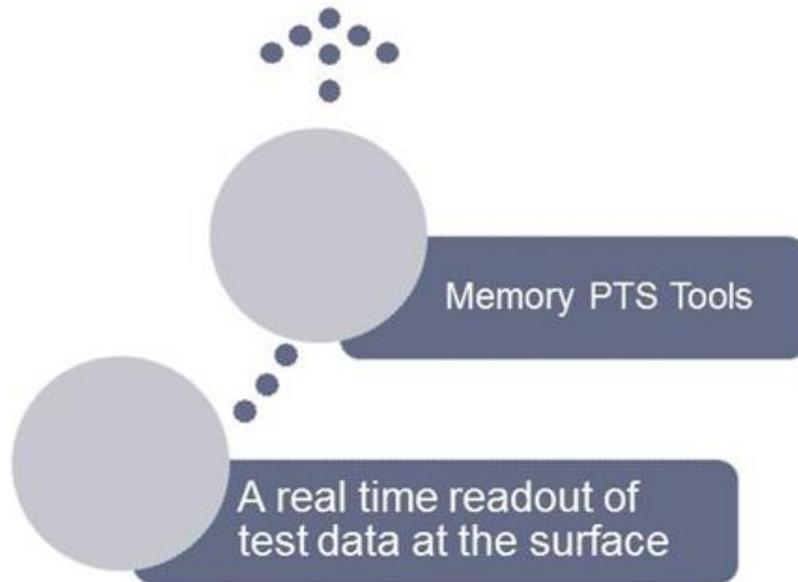


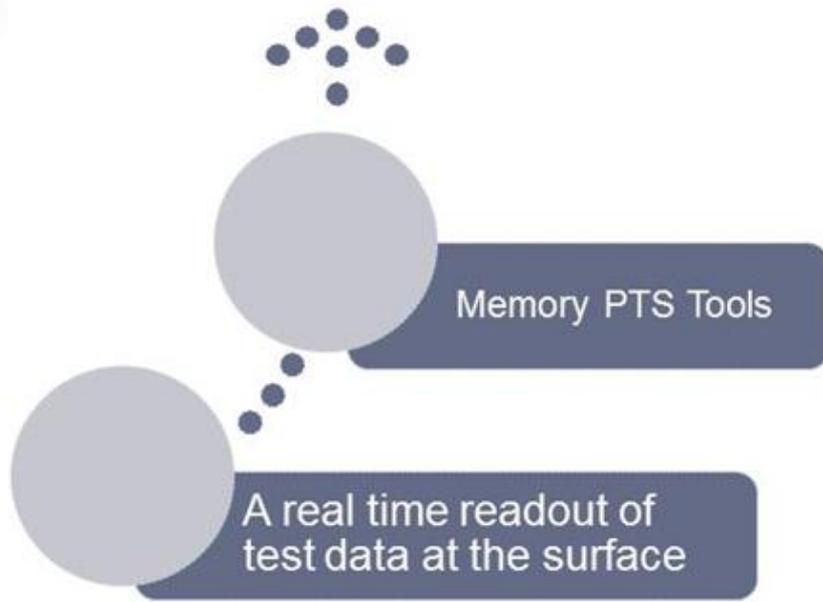
Photo Diambil dari Materi Presentasi Robi Irsamukhti, 21 Maret 2013

- **Winch:** peralatan untuk mengulur dan menarik kabel ke dan dalam sumur.
- **Kabel** ada 2 jenis: E-line atau Slickline cable.
- **Weight sensor:** untuk memonitor tension dari kabel logging secara terus menerus. Tension adalah gaya yang bekerja pada kabel yang mengakibatkan kabel teregang akibat adanya beban diujung kabel.
- **SRO = Surface Read Out** adalah perangkat untuk membaca data yang ditransmisikan dari dalam lubang ke permukaan. Untuk ini digunakan e-line cable. Dihubungkan monitor sehingga parameter yang sedang diukur dapat dibaca secara real time.

## PTS Logging



- Logging tools dapat mentransmisikan data didalam sumur ke permukaan melalui suatu kabel (*single-conductor armored cable*) untuk pembacaan real time (*real-time surface readout atau "e-line"*), atau alat dapat menyimpan data dalam suatu *memory* yang dapat diunduh data-nya setelah alat diangkat ke permukaan.



- Instrument/*downhole electronics* ditempatkan dalam sebuah *Dewar flask* untuk menjaga temperatur instrumen dibawah  $100^{\circ}\text{C}$ , yang dalam kondisi geotermal membatasi waktu utk downhole logging 3-6 jam, tergantung dari berbagai faktor, yaitu: external temperature, design of the Dewar flask, internal electronics package, internal heating rate and time).

Ketelitian bisa lebih baik dari  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  untuk temperatur dan lebih baik dari  $\pm 0.1$  bar untuk tekanan.

- Untuk pengujian yang dilakukan setelah sumur dibor (well completion) sebaiknya digunakan alat yang dapat membaca data langsung di permukaan (*a real-time readout of test data at the surface*), sehingga apabila kualitas data kurang baik karena terjadi perubahan di dalam sumur, maka program pengujian dapat segera disesuaikan. Apabila kedalaman feedzones sudah diketahui, tujuan dari downhole logging dapat tercapai dengan *memory PTS tools*.
- Untuk pengukuran sumur-sumur yang diperkirakan mempunyai temperatur tinggi, baik di permukaan maupun di dalam lubang (diatas 280°C), biasanya lebih disukai *memory PTS tools* karena lebih reliable. Temperatur akan berpengaruh terhadap *e-line conductor & cable head*



- Faktor utama yang harus dipertimbangkan dalam menggunakan *downhole electronic instruments* adalah kecepatan pemanasan alat (*internal heating rate*) dan kapasitas memori yang membatasi lama waktu instrument dapat berada di dalam sumur.
- Apabila temperatur sumur lebih tinggi dari 300°C, program logging harus memperhitungkan kinerja dari insulator kabel (*performance of cable insulation*) apabila digunakan *e-line systems* karena insulator bisa pecah pada temperatur tinggi.



- Keunggulannya instrumen memiliki kemampuan untuk mengukur secara simultan, mengukur ribuan data tekanan-temperatur-aliran dalam satu survey.
- Pengukuran biasanya dilakukan diseluruh kedalaman sumur.
- Pengukuran dapat dilakukan saat sumur di tutup (*shut*), mengalir (*flowing*), atau saat injeksi (*under injection*).

# PTS Injeksi

1. Dilakukan bersamaan dengan injeksi air dingin ke dalam lubang sumur dengan laju konstan.
2. PTS diturunkan pada saat WHP stabil pada 0 bar (quenching rate).

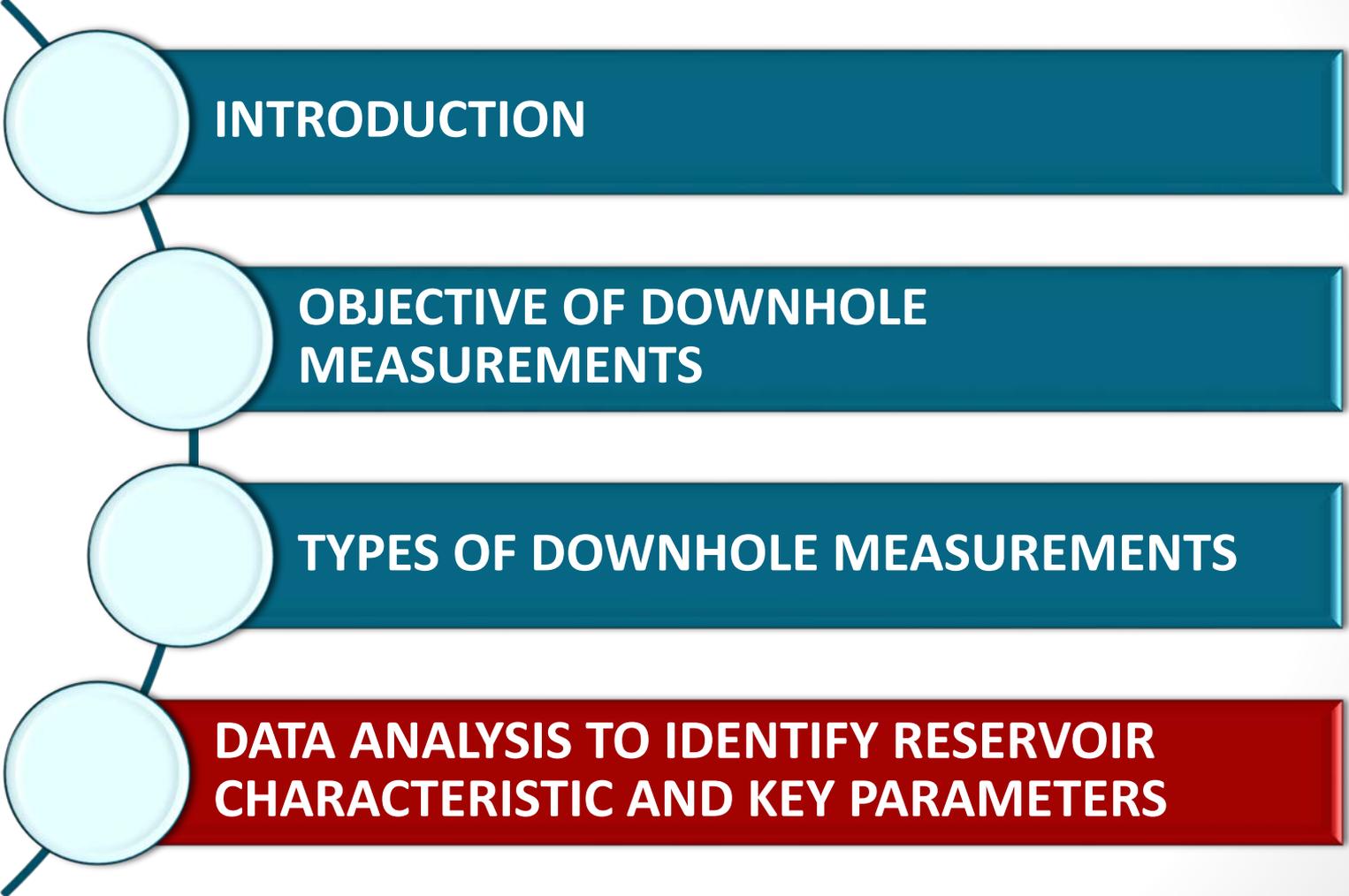
# PTS Shut In

1. Dilakukan untuk melihat keberadaan interzonal flow (feedzone yang saling berhubungan) di dalam lubang sumur.

# PTS Produksi (Flowing)

1. Dilakukan dalam keadaan sumur memproduksi sehingga ada aliran dari dalam sumur ke permukaan.
2. Kendala yang dihadapi adalah kecepatan fluida yang tinggi berpotensi menendang alat kembali keatas.
3. Kendala lainnya, saat produksi temperatur di dalam lubang sumur sangat tinggi sehingga membatasi lamanya alat berada dalam lubang sumur.
4. Keuntungannya data lebih mudah dianalisa karena rps tinggi.

# OUTLINE



**INTRODUCTION**

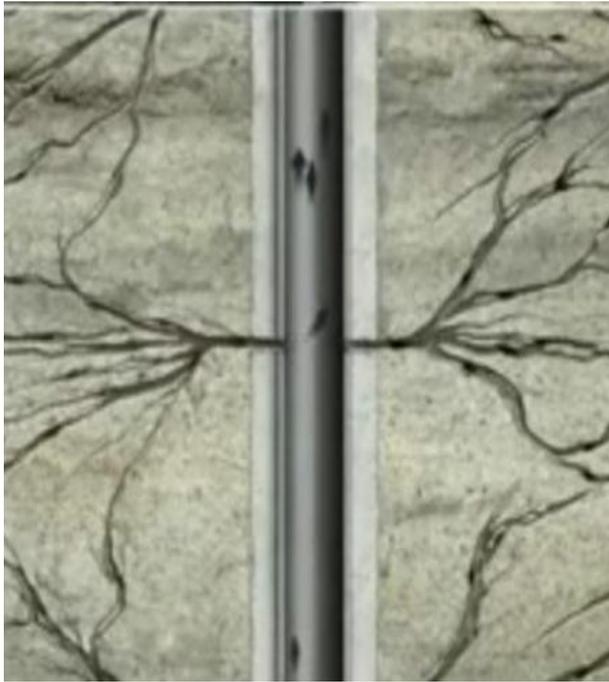
**OBJECTIVE OF DOWNHOLE  
MEASUREMENTS**

**TYPES OF DOWNHOLE MEASUREMENTS**

**DATA ANALYSIS TO IDENTIFY RESERVOIR  
CHARACTERISTIC AND KEY PARAMETERS**

# Data Analysis from Completion Test

Tujuan: Untuk mengetahui kedalaman rekahan (feed zone) serta produktivitasnya.



- Uji kompleksi dilakukan dengan menginjeksi air dingin dengan laju tetap dan mengukur tekanan dan temperatur didalam sumur guna mendapatkan profil (landaian) tekanan dan temperatur pada waktu dilakukan injeksi dengan laju konstant.
- Uji hilang air dilakukan untuk mengetahui tempat-tempat dimana terjadi hilang air atau tempat-tempat dimana fluida formasi masuk kedalam sumur, karena hal tersebut merupakan indikasi adanya pusat-pusat rekahan.

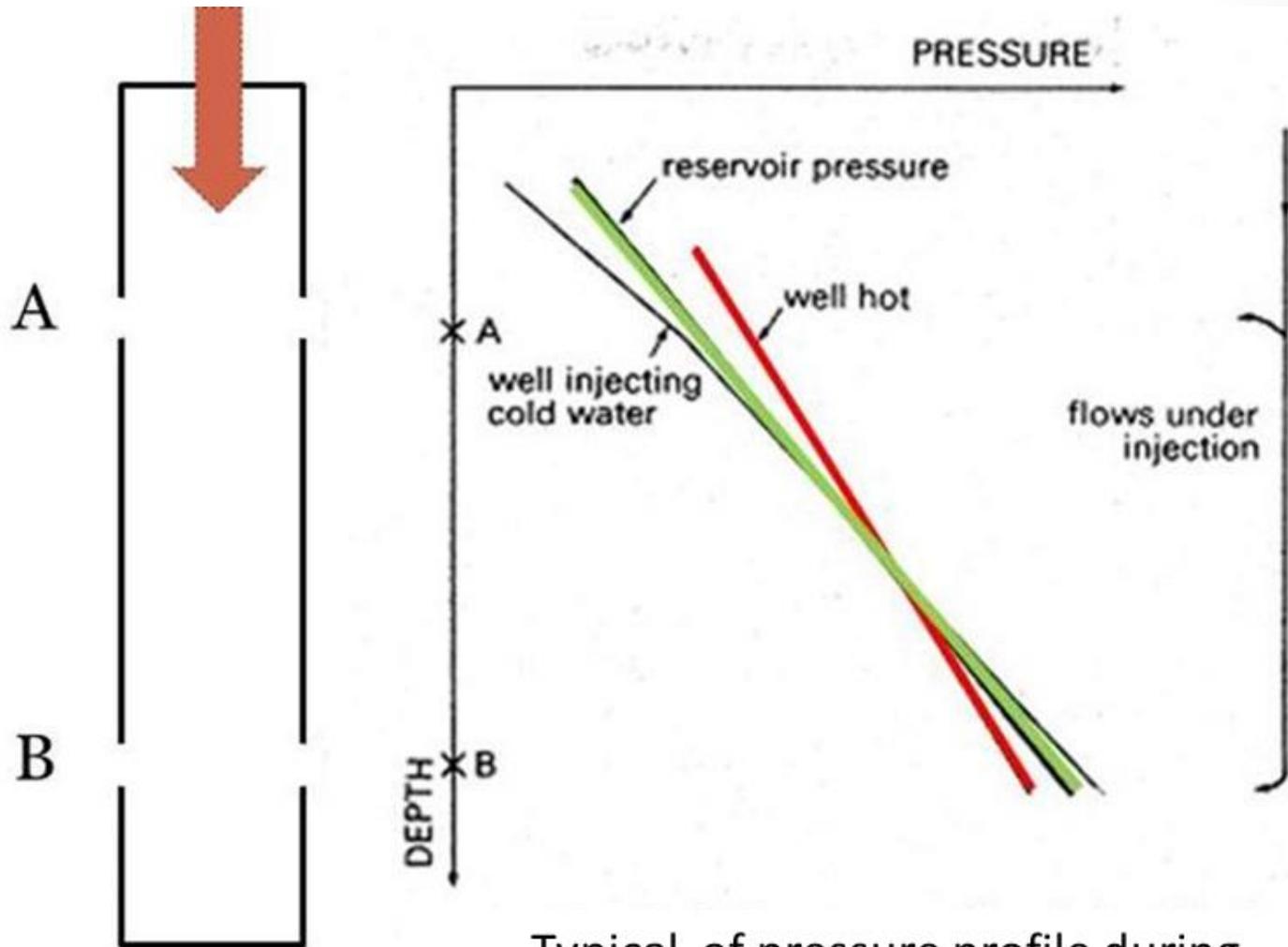
# Objective of Analysis

## Tujuan Analisis:

- Mengetahui kontribusi aliran dari masing-masing feed zone.
- Mengetahui Productivity Index (PI) dari masing-masing feed zone.

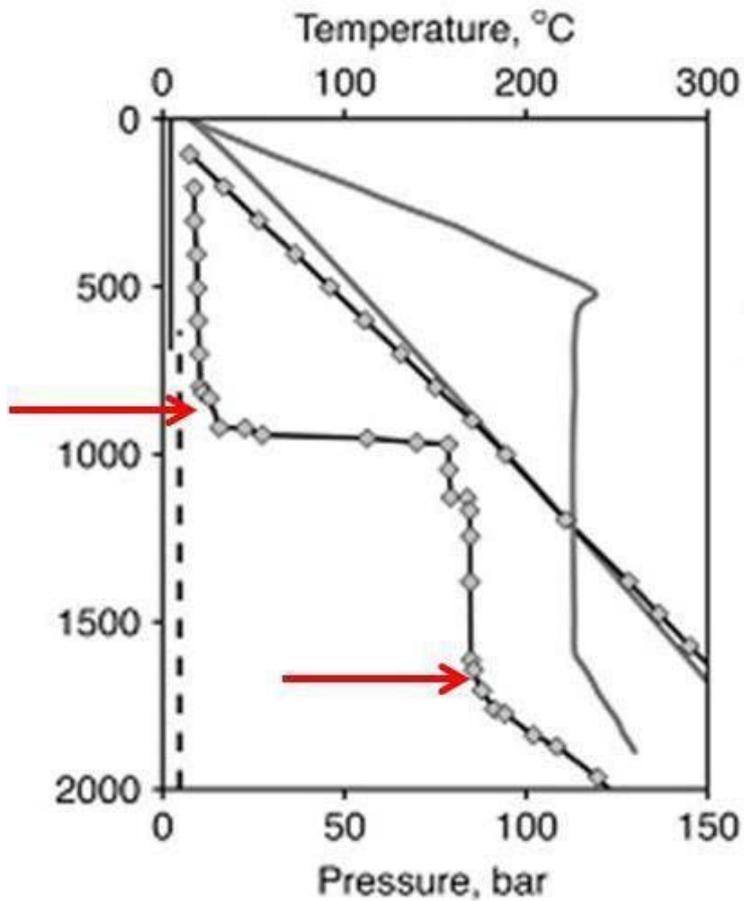
Produktivitas pusat-pusat rekahan dapat ditentukan dengan menggunakan prinsip kesetimbangan panas (heat balance) dan konsep Productivity Index.

# Injeksi air (Water loss test)



Typical of pressure profile during injection (Grant et al. , 2005)

# ESTIMATION OF LOCATION (DEPTH) OF FEED ZONES



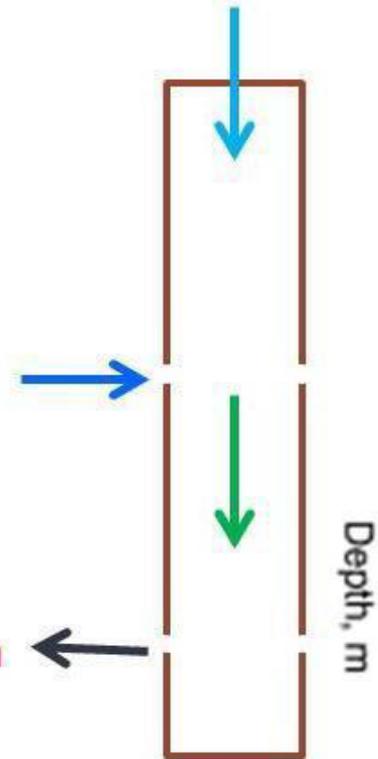
—◇— PT1 Inj 10 l/s May 1983  
— PT2 Shut August 2003

$P_{injeksi} < P_{shut}$

Inflow@960 m

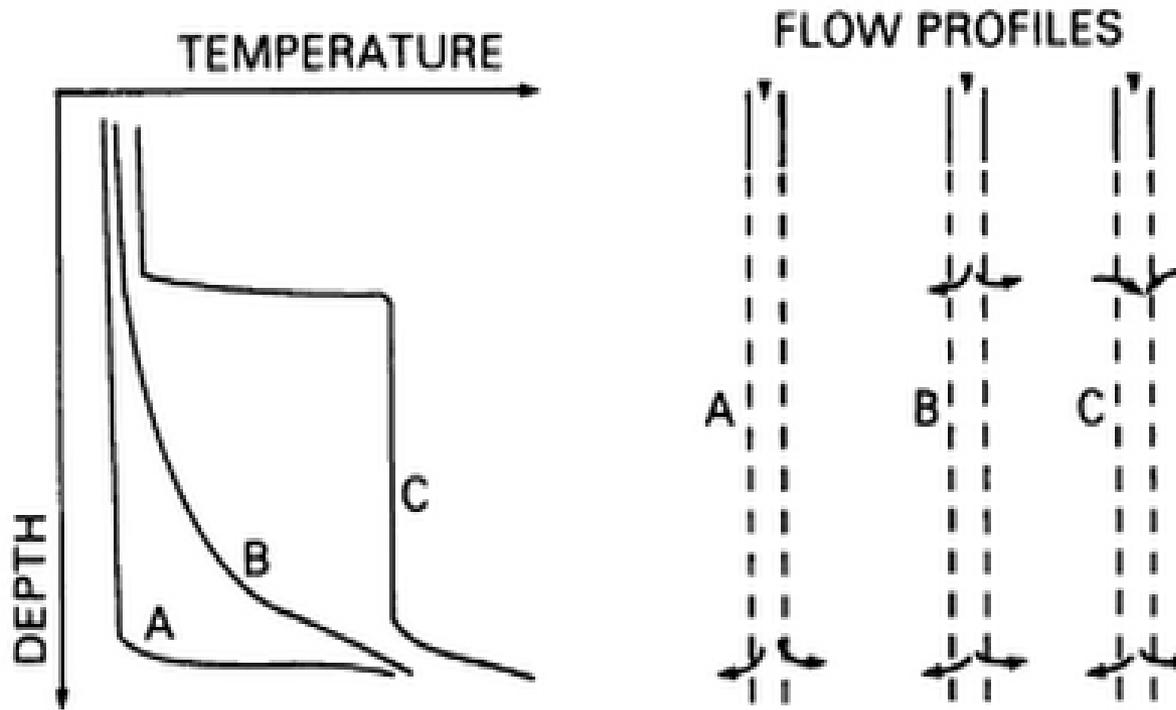
$P_{injeksi} > P_{shut}$

outflow@1600 m



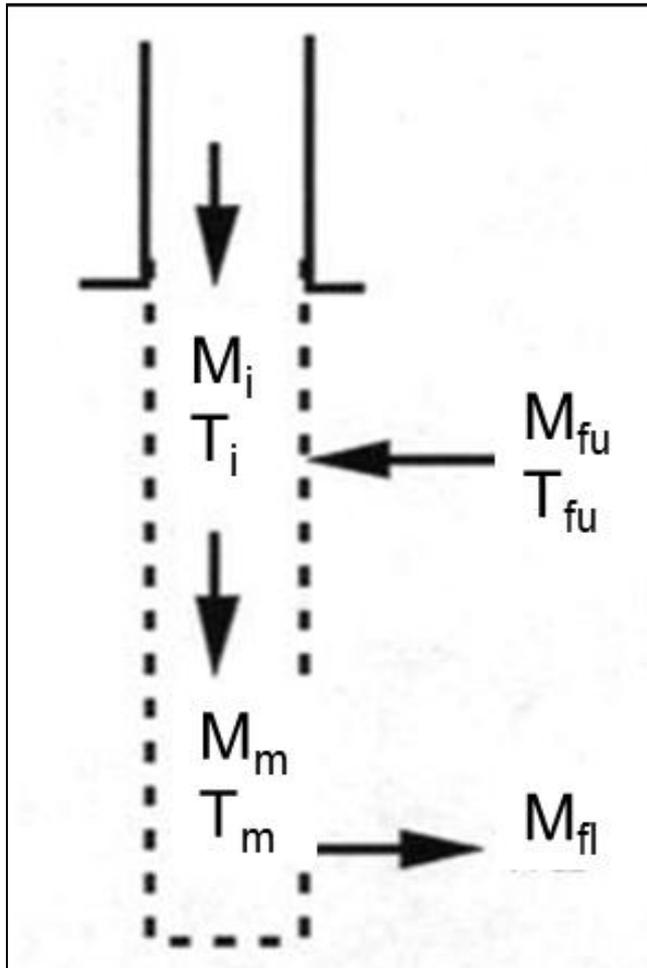
# Temperature and Flow Profile During Injection

Grant et. Al. (1982)

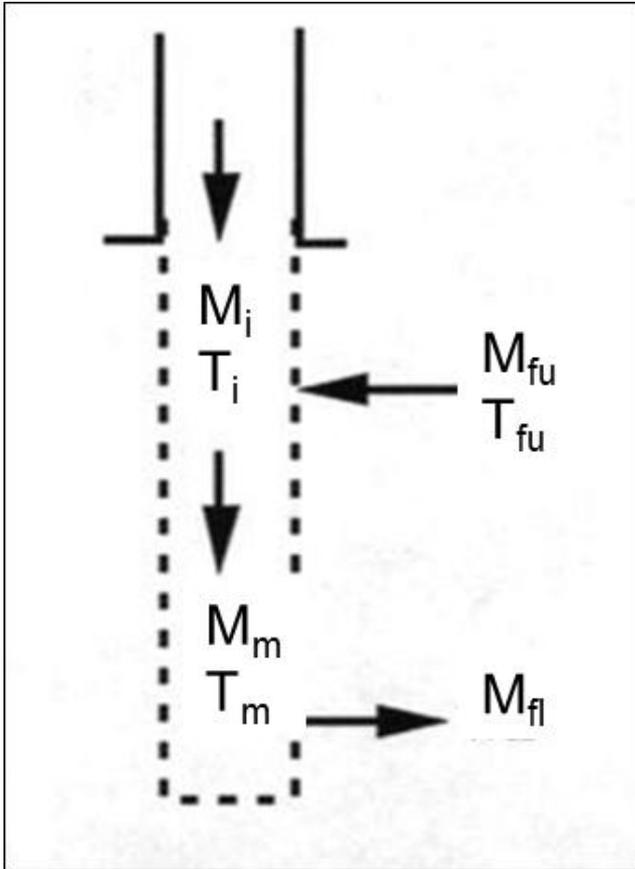


(a) Downhole Temperature

(a) Flow Profile During Injection



Besarnya aliran dari masing-masing rekahan dapat dihitung bila inflow temperatur, rate injeksi, temperatur injeksi dan temperatur diatas dan dibawah kedalaman dimana terjadi inflow dapat diketahui.



Terjadi inflow pada bagian atas (upper zone), dengan laju alir  $M_{fu}$  dan temperatur  $T_{fu}$ , dan outflow pada bagian bawah (lower zone), dengan laju alir  $M_{fl}$ .

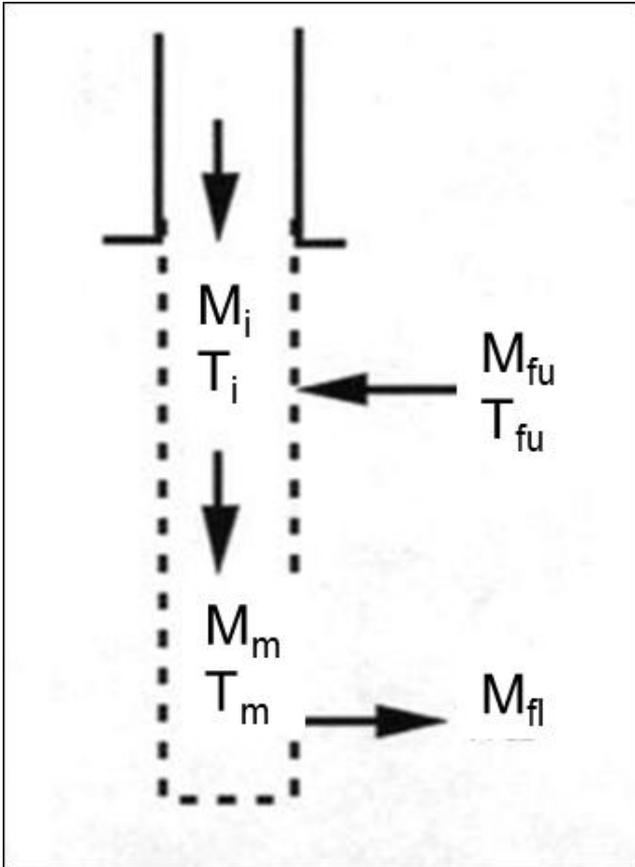
Pada zona bagian atas dimana terjadi inflow, kesetimbangan panas dengan asumsi kapasitas fluida tetap, adalah

$$M_i T_i + M_{fu} T_{fu} = M_m T_m$$

Kesetimbangan masa :

$$M_m = M_i + M_{fu}$$

$$M_{fu} = M_i \frac{T_m - T_i}{T_{fu} - T_m}$$



Setelah laju aliran masa dari formasi diketahui maka besarnya tekanan formasi atau besarnya Productivity Index dari masing-masing feed points dapat diketahui dengan cara sbbt

Produktivitas upper zone:

$$PI_u = \frac{M_{fu}}{P_{fu} - P_{wu}}$$

Produktivitas lower zone:

$$PI_l = \frac{M_m}{P_{fl} - P_{wl}}$$

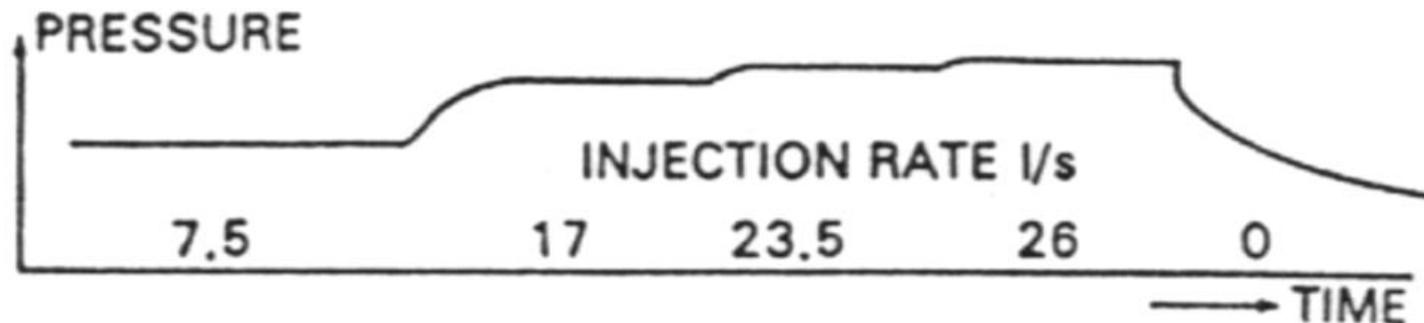
# Data Analysis from Gross Permeability Test

Uji permeabilitas total dilakukan untuk mengetahui transien tekanan setelah laju aliran diubah-ubah. Dengan menganalisa data tersebut besarnya permeabilitas total dapat ditentukan.

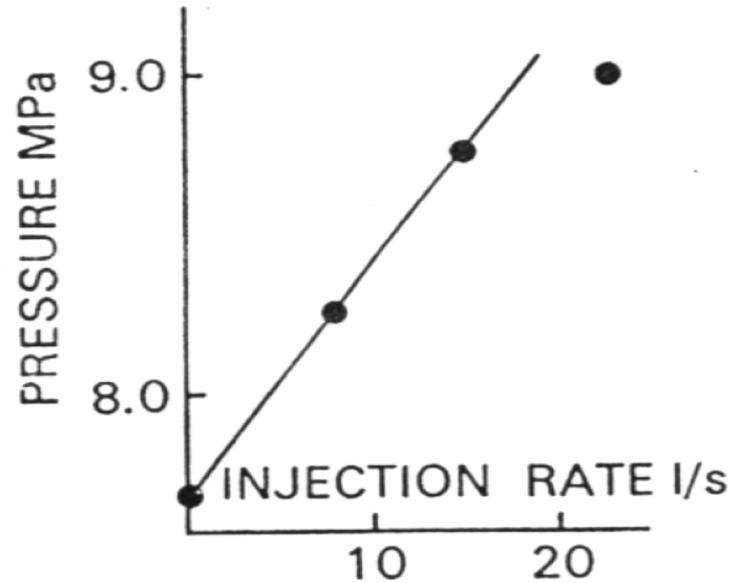
Tujuan: untuk memperkirakan

1. Injektivitas
2. laju alir masa dari sumur (untuk perencanaan pengujian sumur)

Source: Grant et al. (1982)



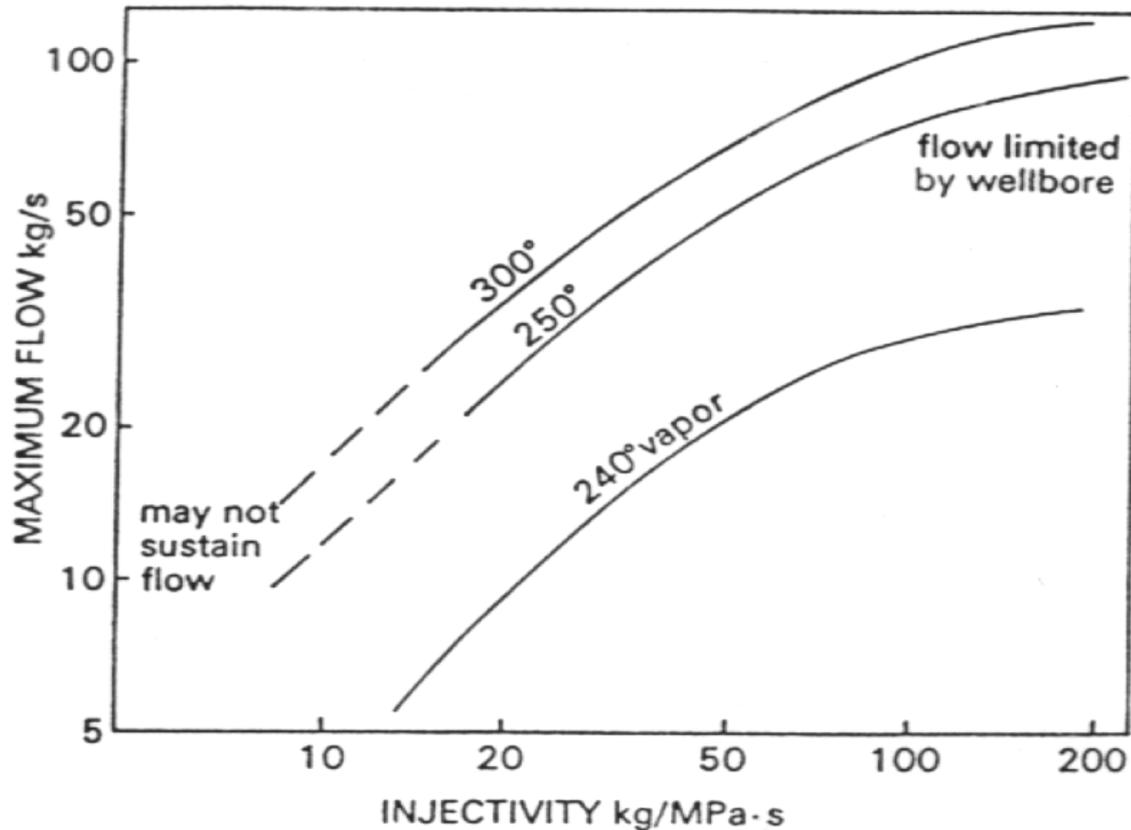
# Penentuan Injektivitas



Injektivitas adalah slope dari plot tekanan-aliran yang stabil.

$$\text{Injectivity} = \frac{\Delta M}{\Delta P} = \frac{[\text{ton/hour}]}{[\text{bar}]}$$

# Estimasi Laju Alir Masa dari Sumur Berdasarkan Injektivitas



Berdasarkan injektivitas dapat diperkirakan laju alir masa dari sumur (untuk perencanaan pengujian sumur)

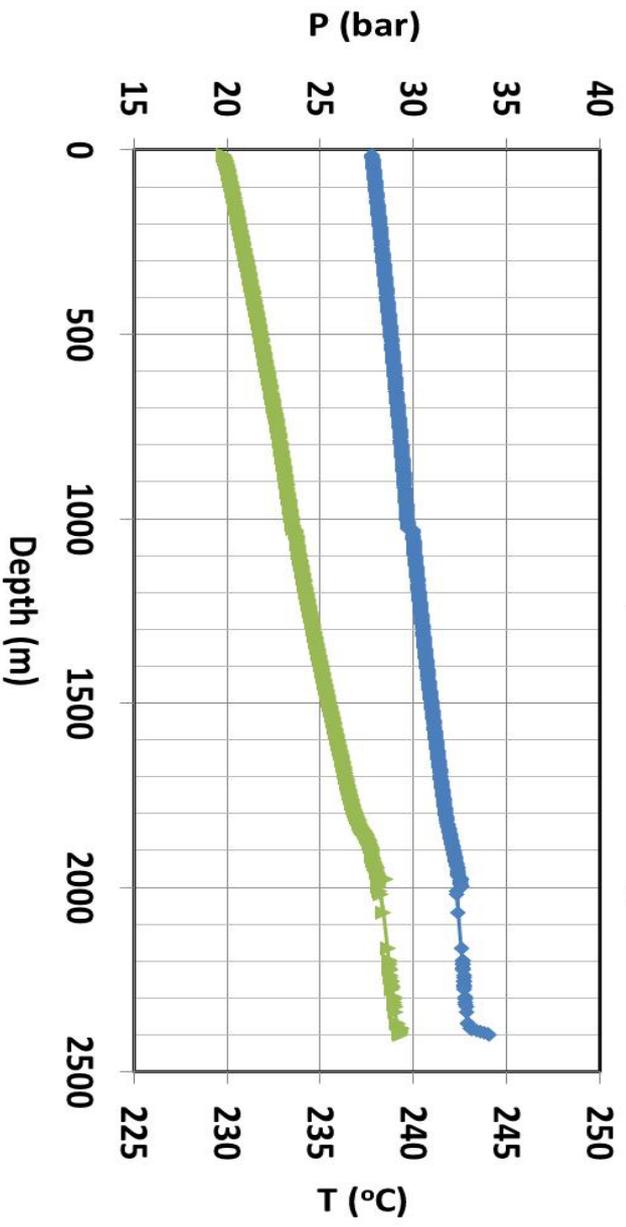
# The Fundamental of PTS ANALYSIS

## Contoh Data dari PTS Survey:

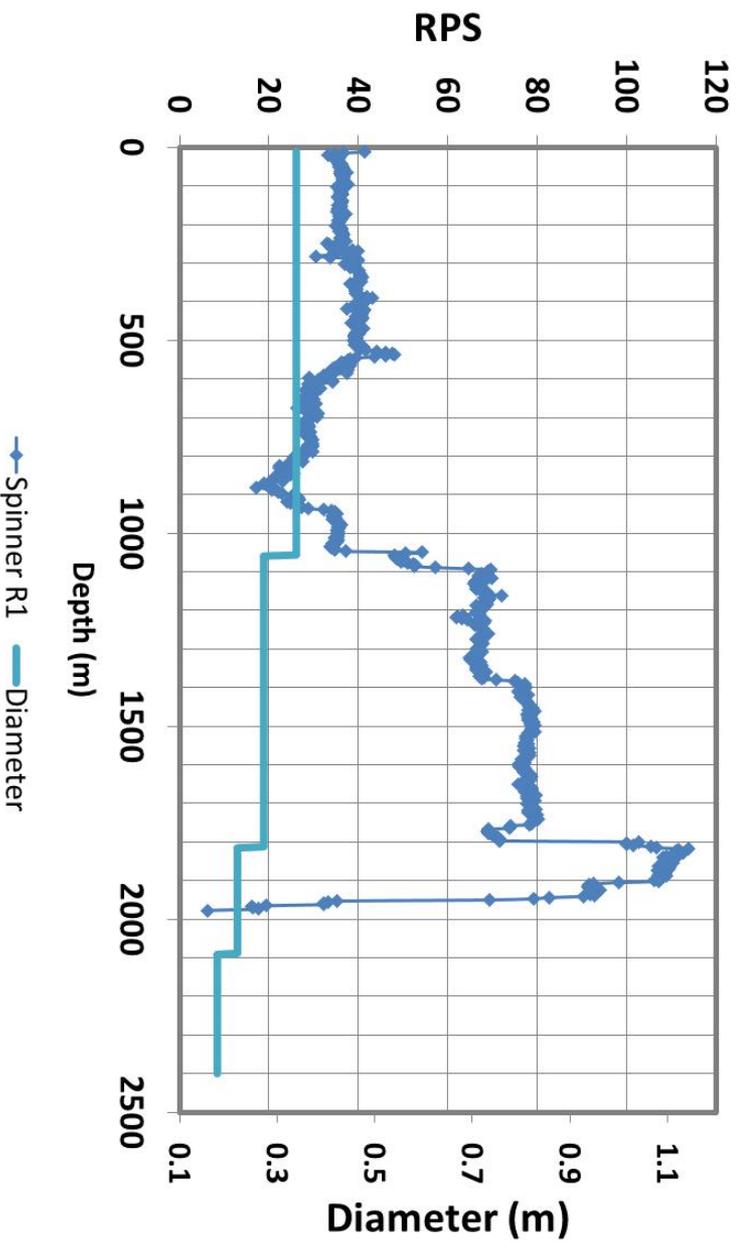
<b>Depth</b>	<b>Temp</b>	<b>Sat Temp</b>	<b>Press</b>	<b>Frequency (RPS)</b>	<b>Cable Speed</b>
<b>m</b>	<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>bar(a)</b>	<b>hz</b>	<b>ft/min</b>
<b>9.8</b>	<b>229.81</b>	<b>229.59</b>	<b>27.79</b>	<b>0.1</b>	<b>55.12</b>
<b>9.9</b>	<b>229.8</b>	<b>229.60</b>	<b>27.792</b>	<b>35.2</b>	<b>55.12</b>
<b>10</b>	<b>229.74</b>	<b>229.62</b>	<b>27.803</b>	<b>42.9</b>	<b>61.02</b>
<b>10.2</b>	<b>229.83</b>	<b>229.62</b>	<b>27.802</b>	<b>43.8</b>	<b>61.02</b>
<b>10.3</b>	<b>229.8</b>	<b>229.59</b>	<b>27.79</b>	<b>44</b>	<b>61.02</b>
<b>10.5</b>	<b>229.81</b>	<b>229.60</b>	<b>27.792</b>	<b>44.3</b>	<b>55.12</b>
<b>10.6</b>	<b>229.81</b>	<b>229.60</b>	<b>27.796</b>	<b>44.1</b>	<b>61.02</b>
<b>10.8</b>	<b>229.81</b>	<b>229.63</b>	<b>27.808</b>	<b>43.4</b>	<b>55.12</b>
<b>10.9</b>	<b>229.83</b>	<b>229.62</b>	<b>27.804</b>	<b>42.8</b>	<b>61.02</b>
<b>11.1</b>	<b>229.81</b>	<b>229.61</b>	<b>27.801</b>	<b>43.1</b>	<b>55.12</b>
<b>11.2</b>	<b>229.81</b>	<b>229.62</b>	<b>27.803</b>	<b>42.2</b>	<b>61.02</b>

*Dan seterusnya hingga kedalaman sumur*

## Pressure & Temperature Flowing

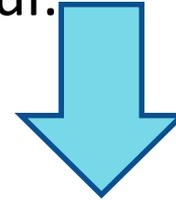


## Spinner

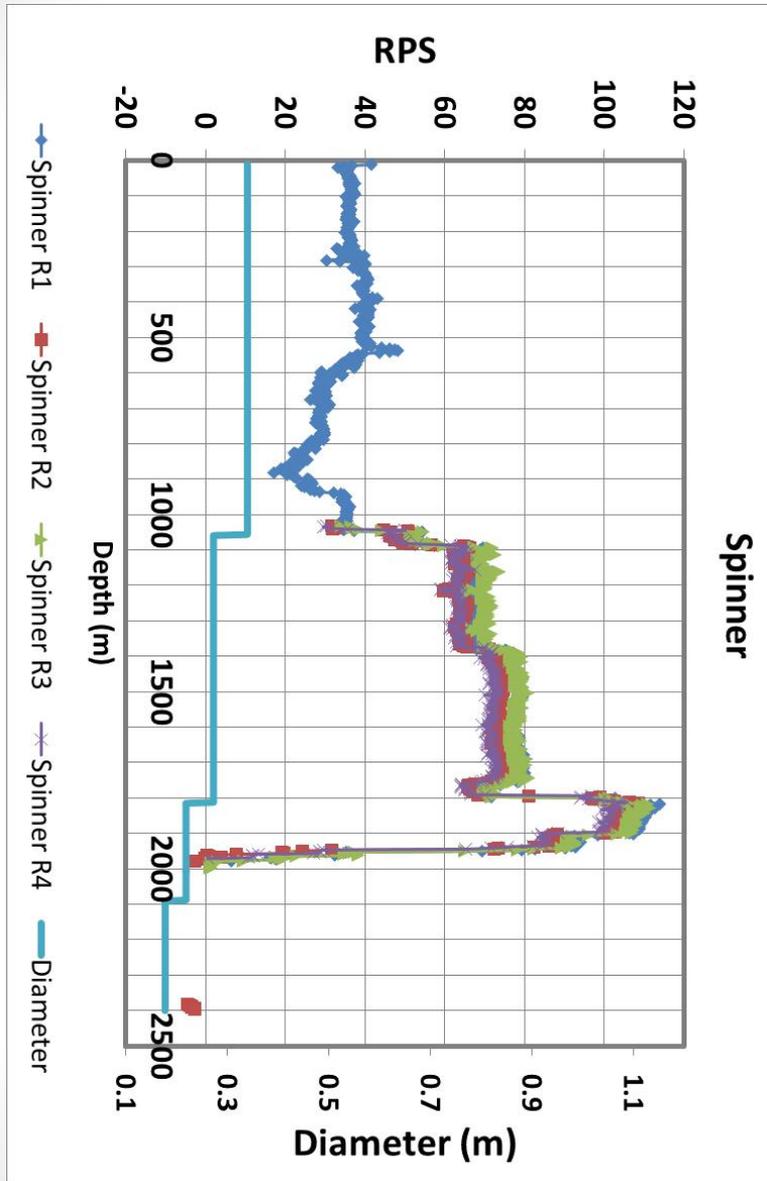


# Analisa PTS

Data yang didapatkan dari spinner tool adalah laju putaran spinner, sedangkan data yang diinginkan adalah data perubahan kecepatan di dalam sumur.



Untuk itu harus dilakukan penterjemahan terlebih dahulu dari laju putaran spinner menjadi kecepatan fluid.



# PENGOLAHAN DATA

- ❖ Kecepatan fluida pada suatu kedalaman tertentu dihitung dengan persamaan<sup>1)</sup>:

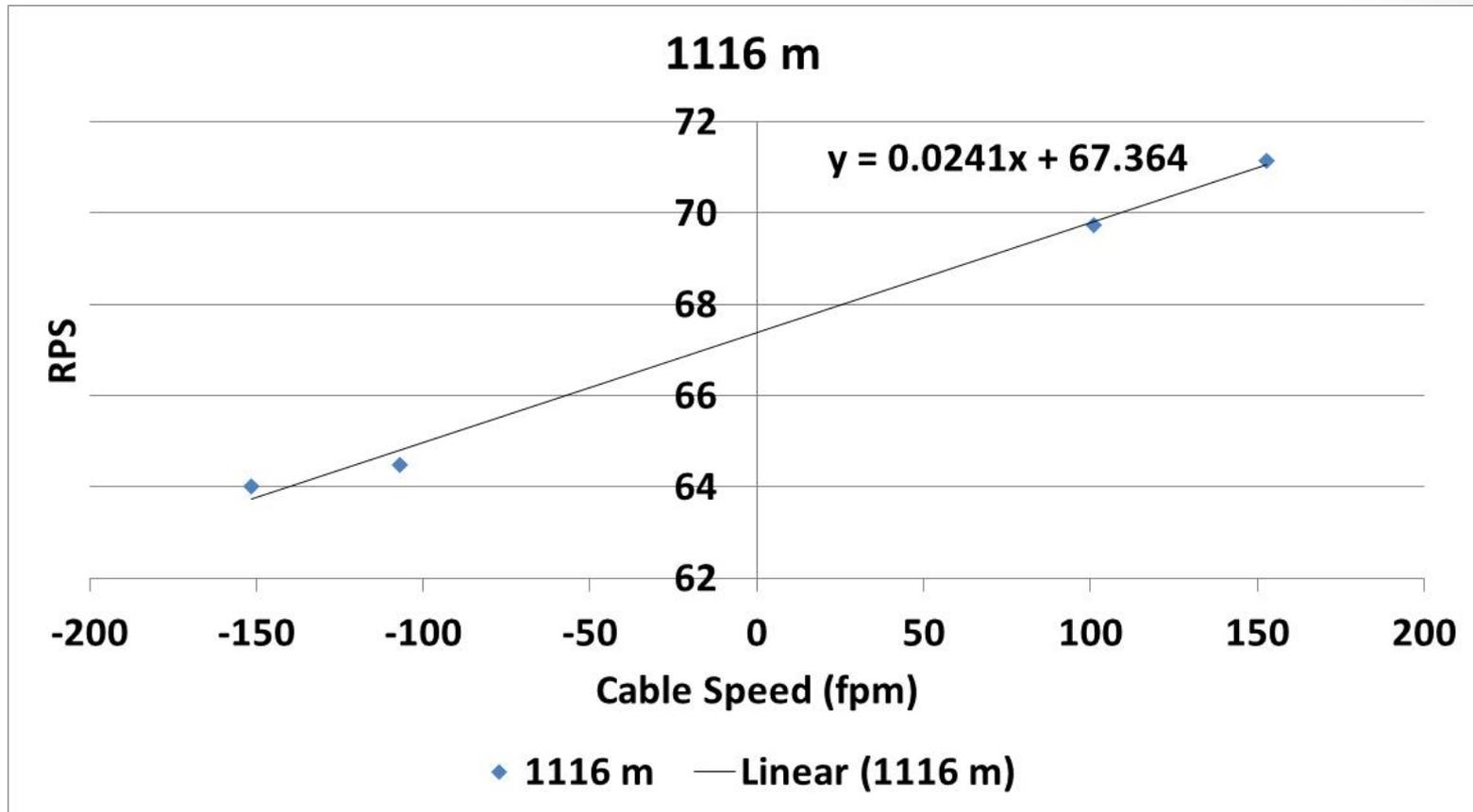
$$V = (\text{fpm/rps}) \times \text{RPS} - \text{cable speed}$$

- ❖ Nilai **(fpm/rps)** diperoleh dengan cara membuat cross plot antara RPS dengan kecepatan alat (cable speed).
- ❖ Idealnya, kurva RPS terhadap kecepatan alat akan membentuk garis lurus<sup>4)</sup>.

## Contoh pada kedalaman 1116 m (3661.42 ft)

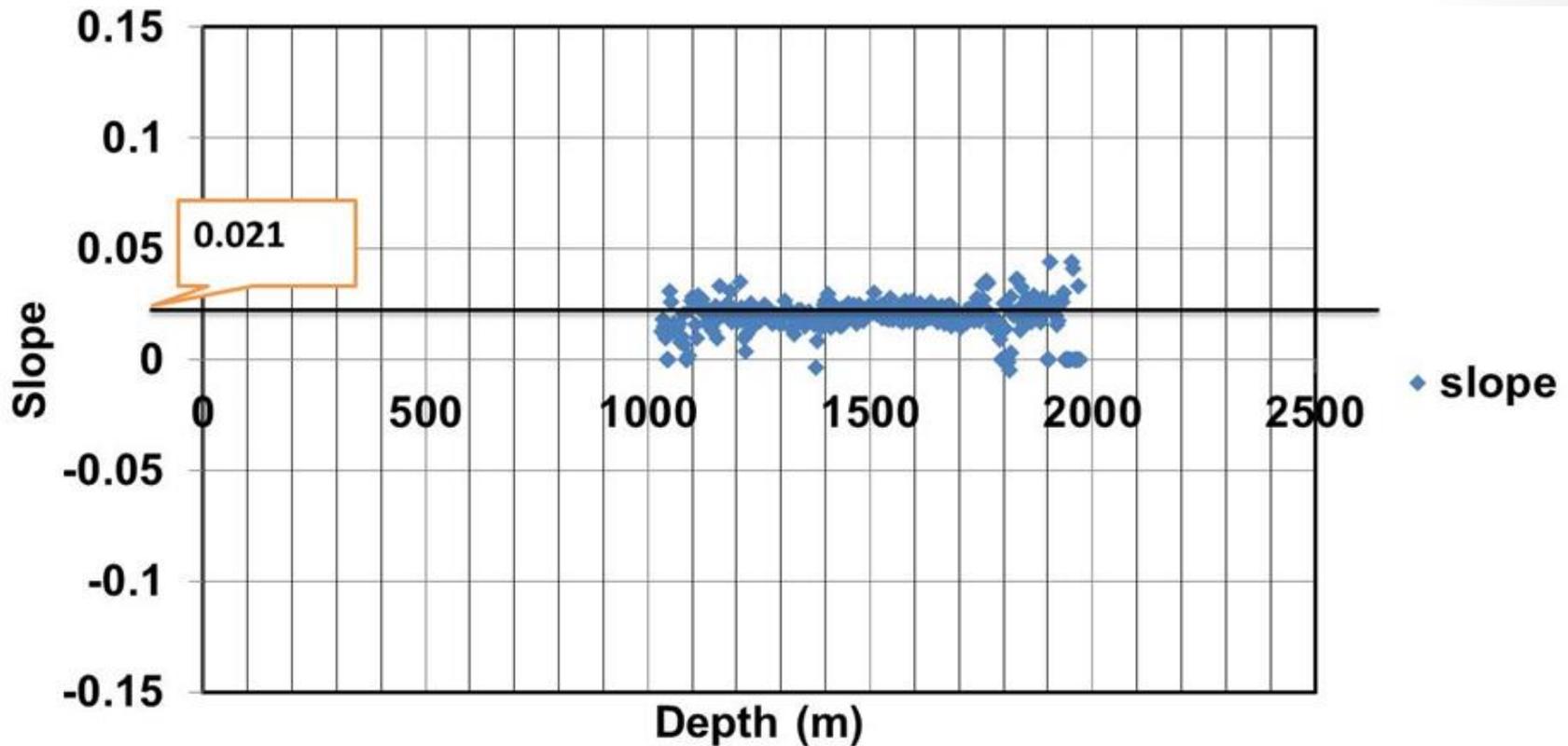
	Cable Speed (fpm)	RPS
R1	100.9	69.7
R2	-106.9	64.5
R3	153.1	71.2
R4	-151.3	64

## Plot RPS vs cable speed



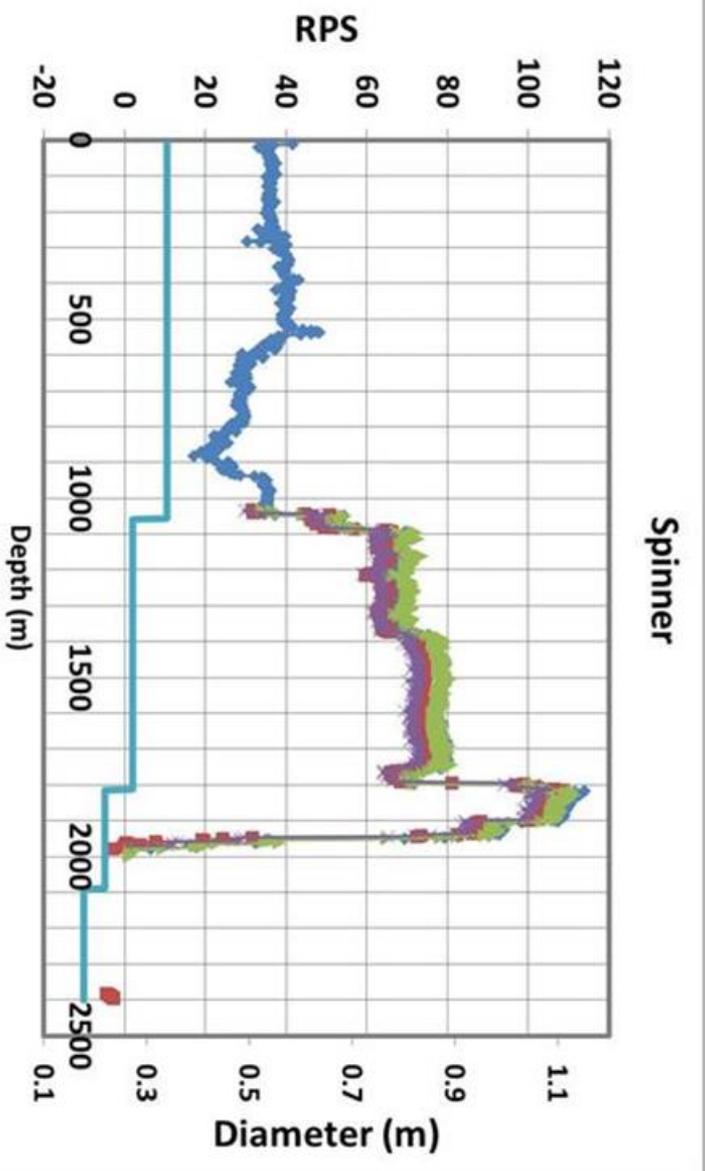
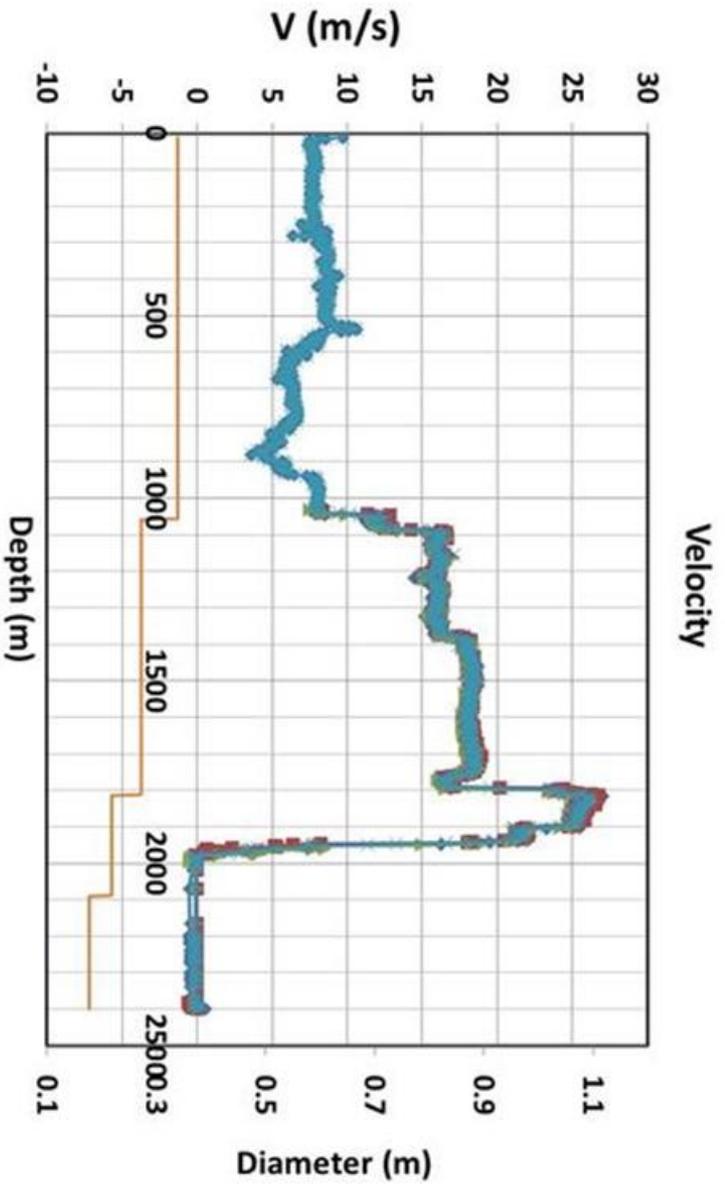
Diperoleh slope=0.024

Prosedur yang sama dengan di atas dilakukan sepanjang kedalaman.



$$\text{slope} = 0.021$$

$$\begin{aligned} \text{fpm/rps} &= 1/\text{slope} \\ &= 1/0.021 = \mathbf{47.6} \end{aligned}$$



# PENGOLAHAN DATA

Siapkan data well geometry, data run PTS survey: kecepatan alat & RPS, P, T, data wellhead: tekanan, mass flowrate

Berdasarkan data RPS hitung kecepatan fluida :  $V = (\text{fpm/rps}) \times \text{RPS} - \text{cable speed}$  Lakukan perhitungan utk setiap kedalaman

Hitung laju alir masa:  $m = \rho_g V A$ . Lakukan perhitungan untuk setiap kedalaman

Dari plot kecepatan vs kedalaman, tentukan lokasi feed zone (inflow atau outflow)

Lakukan simulasi sumur

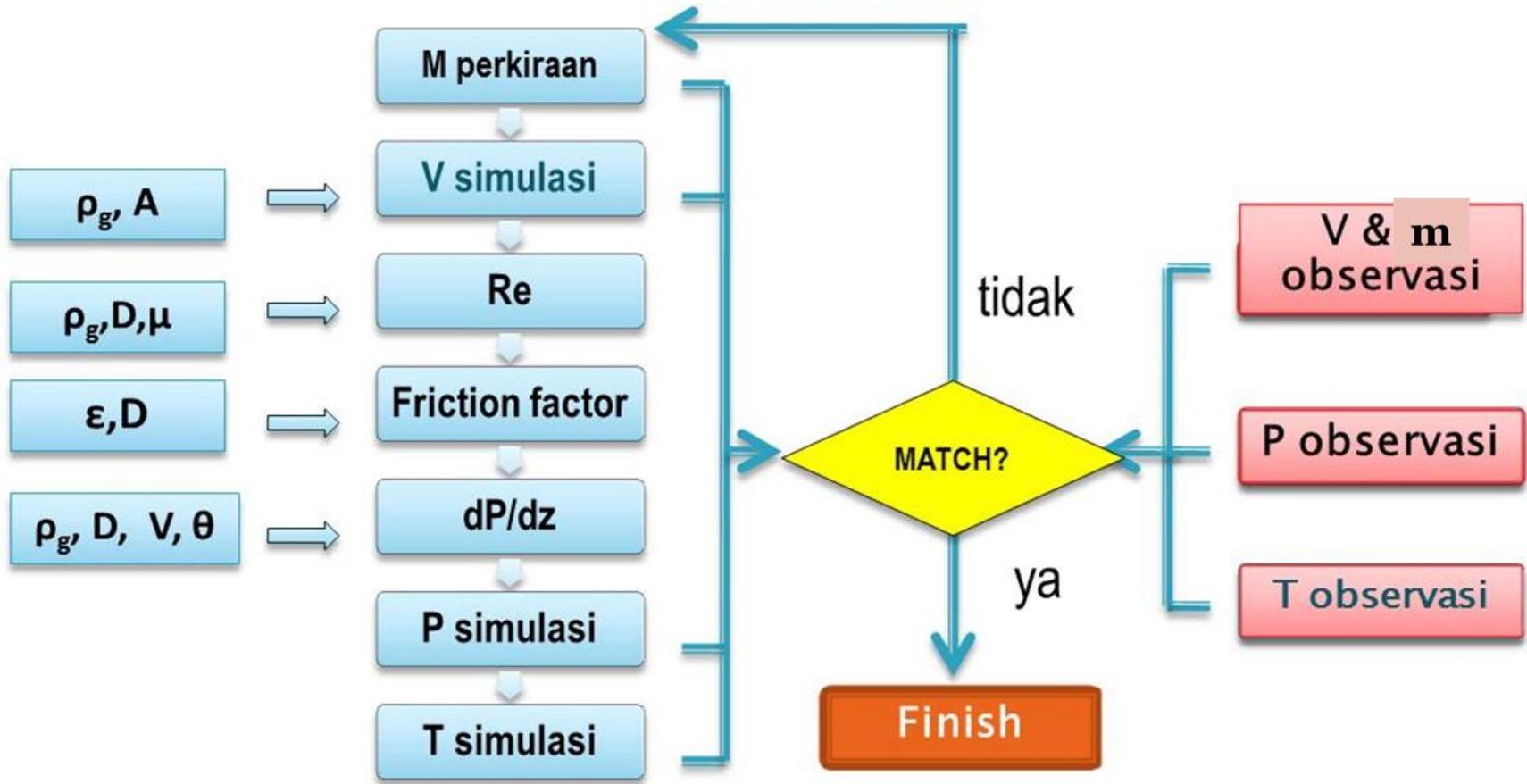
# SIMULASI SUMUR

Simulasi dilakukan untuk memperoleh model aliran dengan profil kecepatan fluida, mass flow, tekanan dan temperatur yang menyerupai profil kecepatan fluida, mass flow, tekanan dan temperatur observasi.

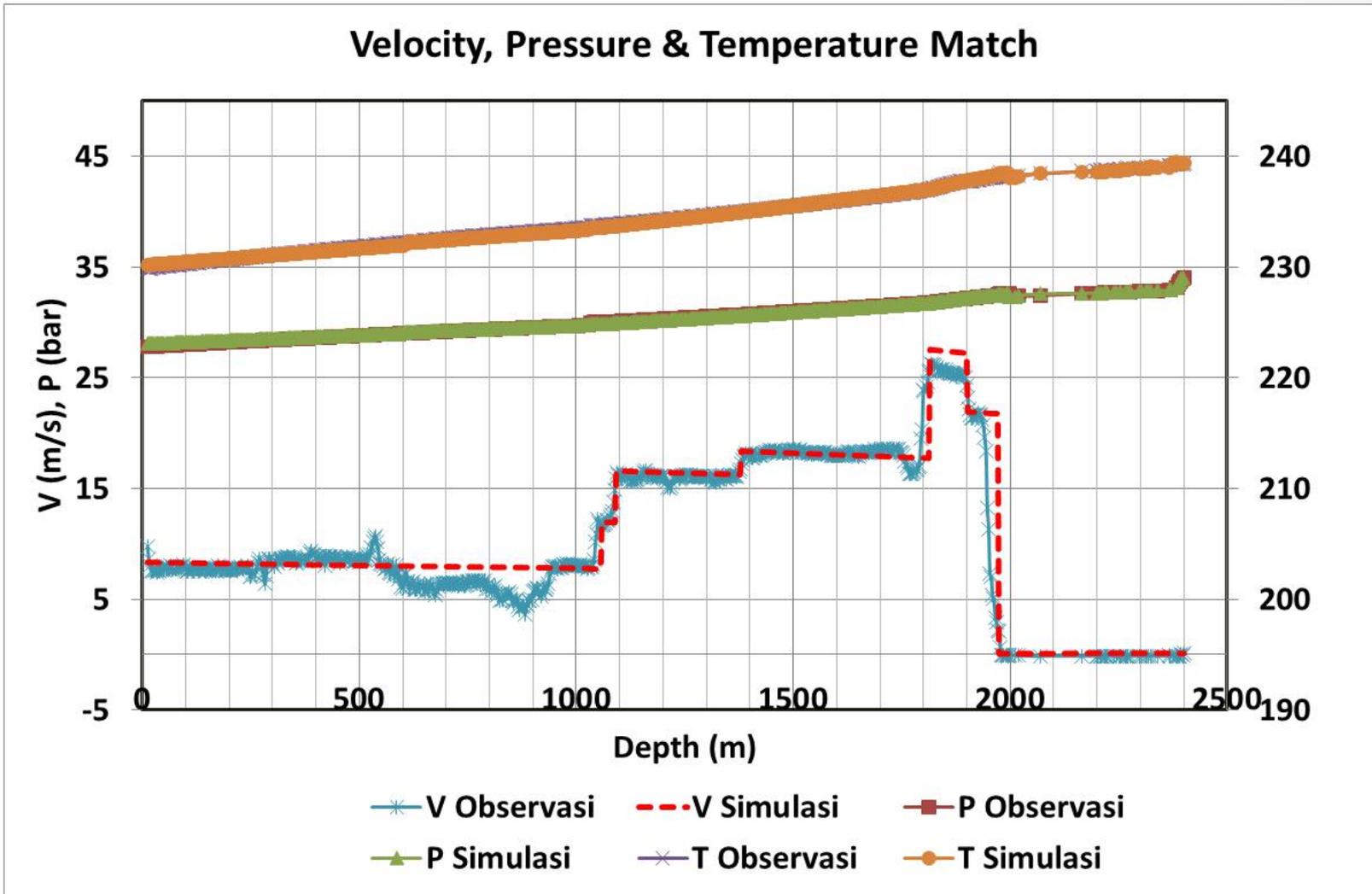
Dalam simulasi ini ada 3 tahap yang dilakukan antara lain:

- ❖ Menentukan lokasi feed zone (inflow atau outflow) dan laju alir massa (mass flow)
- ❖ Melakukan simulasi wellbore
- ❖ Penyelarasan (matching) hasil simulasi dengan data lapangan (data observasi/dari pengukuran lapangan)

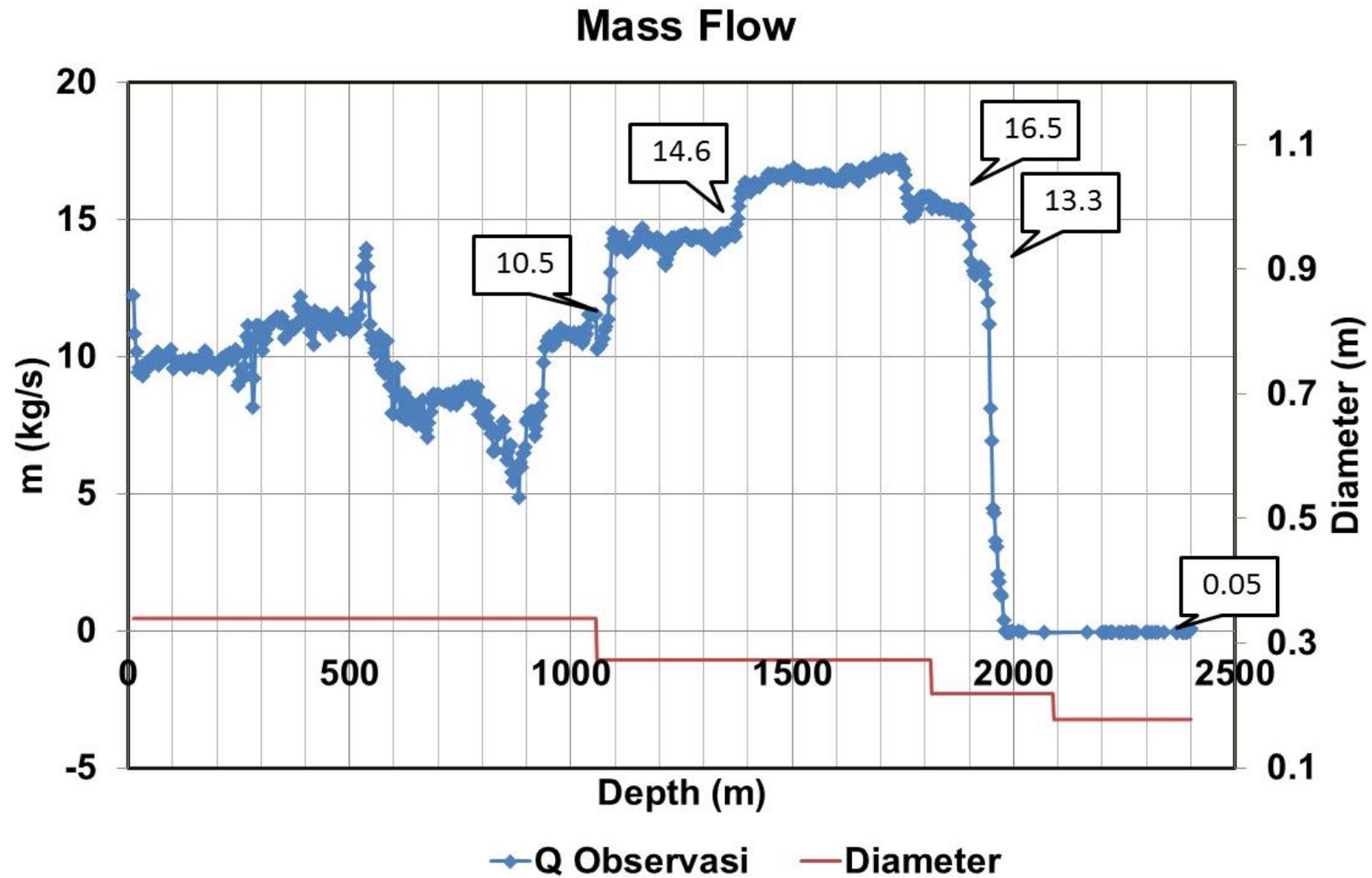
# SIMULASI SUMUR



# Contoh hasil simulasi:



# Contoh hasil analisis:



# EXCERCISE

## Contoh :

Sumur NG4 pada waktu ditutup memperlihatkan adanya aliran fluida kearah dasar sumur (downflow) dari upper feed zone yang terdapat pada kedalaman 750 meter dengan temperatur 226°C. Kedalaman sumur adalah 1200 meter. Dari empat kali pengujian, yaitu dengan menginjeksikan air kedalam sumur dengan rate yang berbeda-beda, diperoleh data seperti diperlihatkan pada Tabel berikut. Dari hasil pengukuran lainnya diketahui bahwa tekanan formasi di upper zone ( $P_{fu}$ ) adalah 74 barg dan di lower zone adalah 108,3 barg. Hitung produktivitas dan injektivitas pada kedua zone tersebut

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Laju injeksi (kg/s), $M_i$	14	28	42	56
Temp. injeksi (°C), $T_i$	82	87	91	95
Temp. setelah terjadi pencampuran (°C), $T_m$	164	135	121	108
Tekanan sumur di upper zone (barg), $P_{wu}$	705	71.1	72	72.6
Tekanan sumur di lower zone (barg), $P_{wl}$	109.7	109.9	110.3	110.6