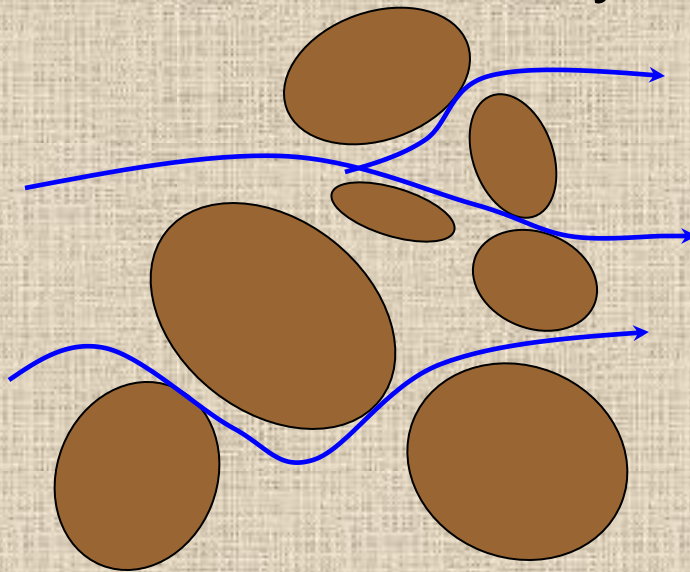


Apa yang dimaksud dengan Permeabilitas?

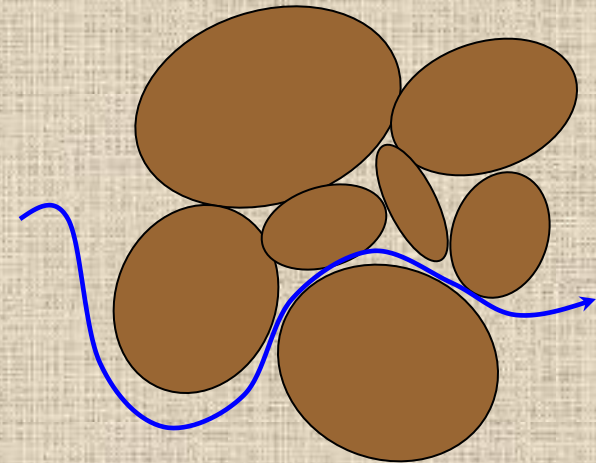
Suatu nilai yang menunjukkan tingkat kemudahan cairan (misalnya air) melalui suatu medium yang porous (misalnya tanah)



Tanah lepas

- Mudah dilalui
- Permeabilitas **tinggi**

air



Tanah padat

- Sulit dilalui
- Permeabilitas **rendah**

TIPIKAL NILAI PERMEABILITAS

Clean gravels	$> 10^{-1}$ m/s
Clean sands, sand-gravel	10^{-4} to 10^{-2} m/s
Fine sands, silts	10^{-7} to 10^{-4} m/s
Intact clays, clay-silts	10^{-10} to 10^{-7} m/s

METODE MENENTUKAN NILAI k

[A] Uji laboratorium

- Constant head test
- Falling head test
- Other

[A] Pertanyaan?

Seberapa baik kualitas sampel?

[B] Uji lapangan

- Pumping tests
- Borehole infiltration tests
- Field constant/Falling head test

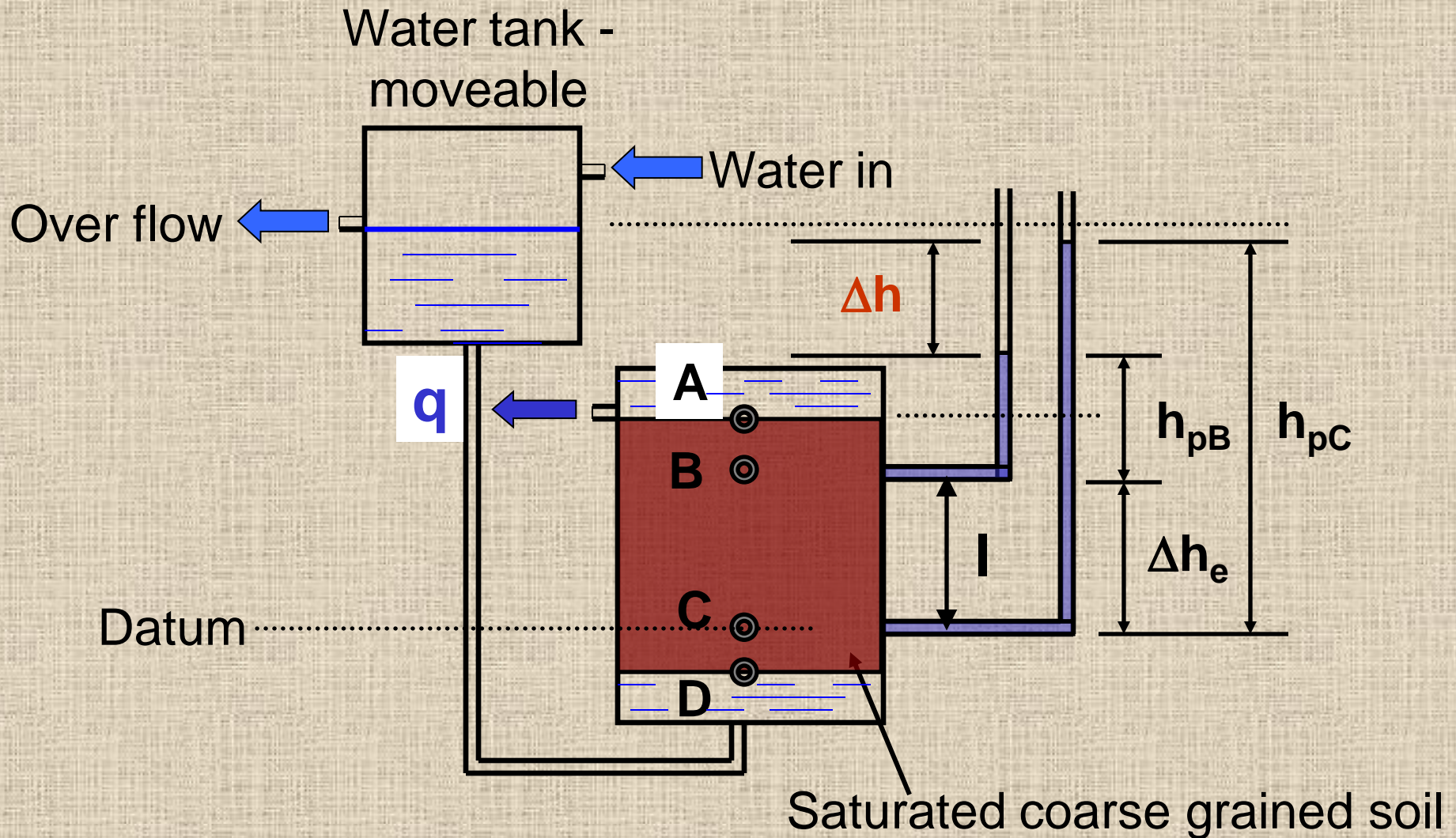
[B] Pertanyaan?

Perlu diketahui kondisi profil tanah, muka air tanah, dan kondisi batas lainnya

Lab Test 1: Constant head test

- Sebuah silinder yang berisi tanah butir kasar dengan saturasi 100%
- Air dimasukkan ke dalam tangki air yang memiliki lubang untuk overflow, sehingga tekanan air konstan, tinggi air dijaga agar tetap konstan
- Volume air dalam waktu tertentu yang keluar diukur

1. Constant head permeameter



- $h_c = h_{pc} + Z_c$

datum di C, sehingga $Z_c = 0$

$$h_c = h_{pc}$$

- $h_B = h_{pB} + Z_B$

Datum di C, sehingga $\Delta h_e = Z_B - Z_C = Z_B$

- Head loss = $\Delta h = h_C - h_B = h_{pC} - (h_{pB} + \Delta h_e)$

- $i = \Delta h / l$

- Volume air, V diukur

- Waktu, t , dicatat $\rightarrow q = V/t$

- Luas cross section sampel, A , diketahui

- $q = k \cdot i \cdot A \rightarrow k = q/(i \cdot A) = V \cdot l / (A \cdot \Delta h \cdot t)$

Constant head test

Cocok untuk pasir bersih dan kerikil

Contoh:

- Sebuah sampel tanah dengan luas cross 4500 mm²,
- Jarak vertikal antara kedua standpipe adalah 100 mm
- Δh sebesar 75 mm
- Outflow sebesar 1 liter setiap menit

Tentukan nilai permeabilitas tanahnya?

Jawab

- Outflow, $q = 1000 \text{ cm}^3/\text{min} = 1000 \text{ cm}^3/60 \text{ sec}$
atau $q = 16.7 \text{ cm}^3/\text{sec} = \underline{16.7 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}}$
- $i = \Delta h/l = 75/100 = 0.75$
- $k = q/(iA)$
 $= (16.7 \times 10^{-6}) / (0.75 \times 4500 \times 10^{-6}) \text{ m/sec}$
 $\underline{k = 5 \times 10^{-3} \text{ m/sec}}$

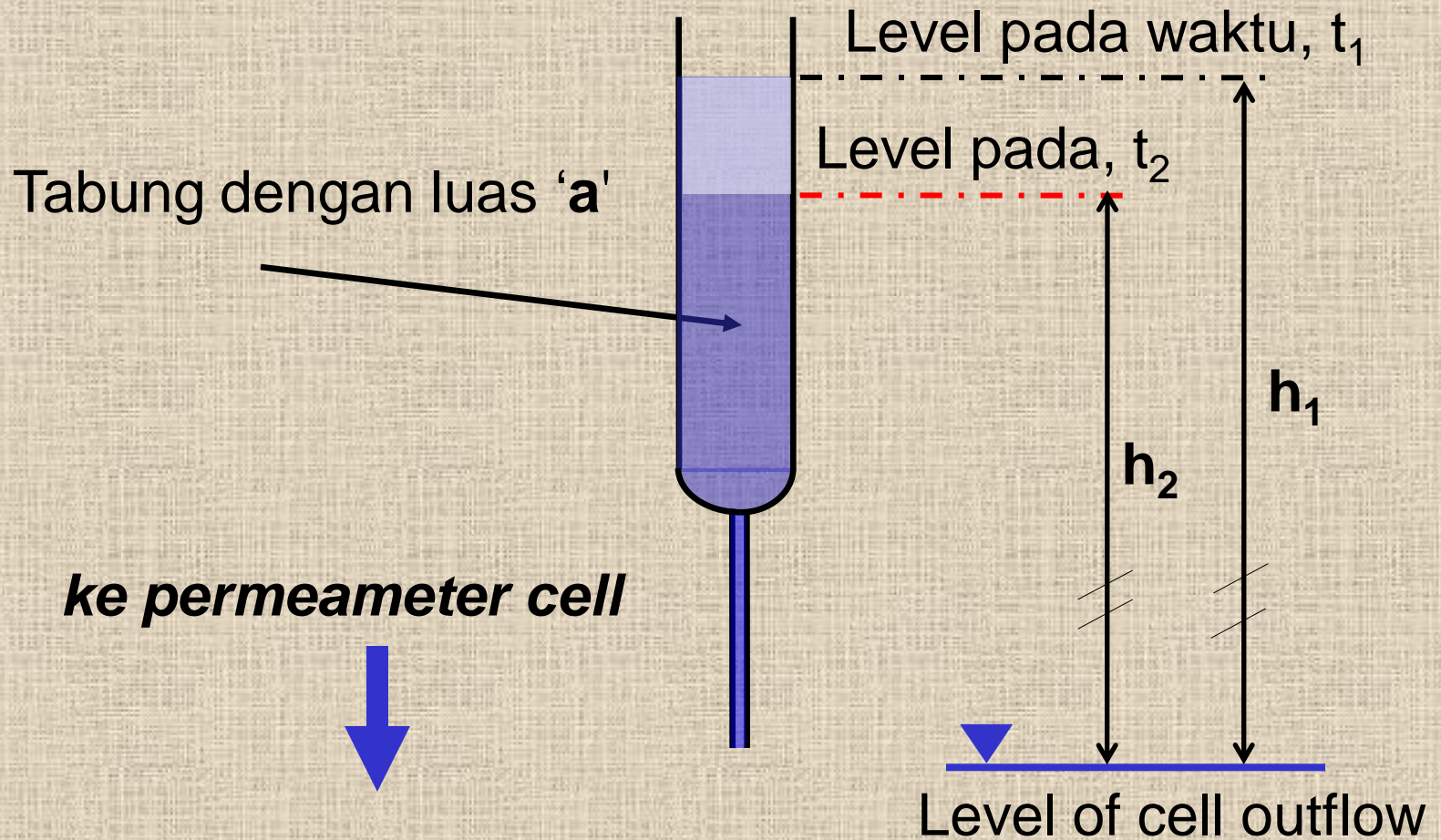
Bandingkan nilainya dengan tabel tipikal nilai k !!

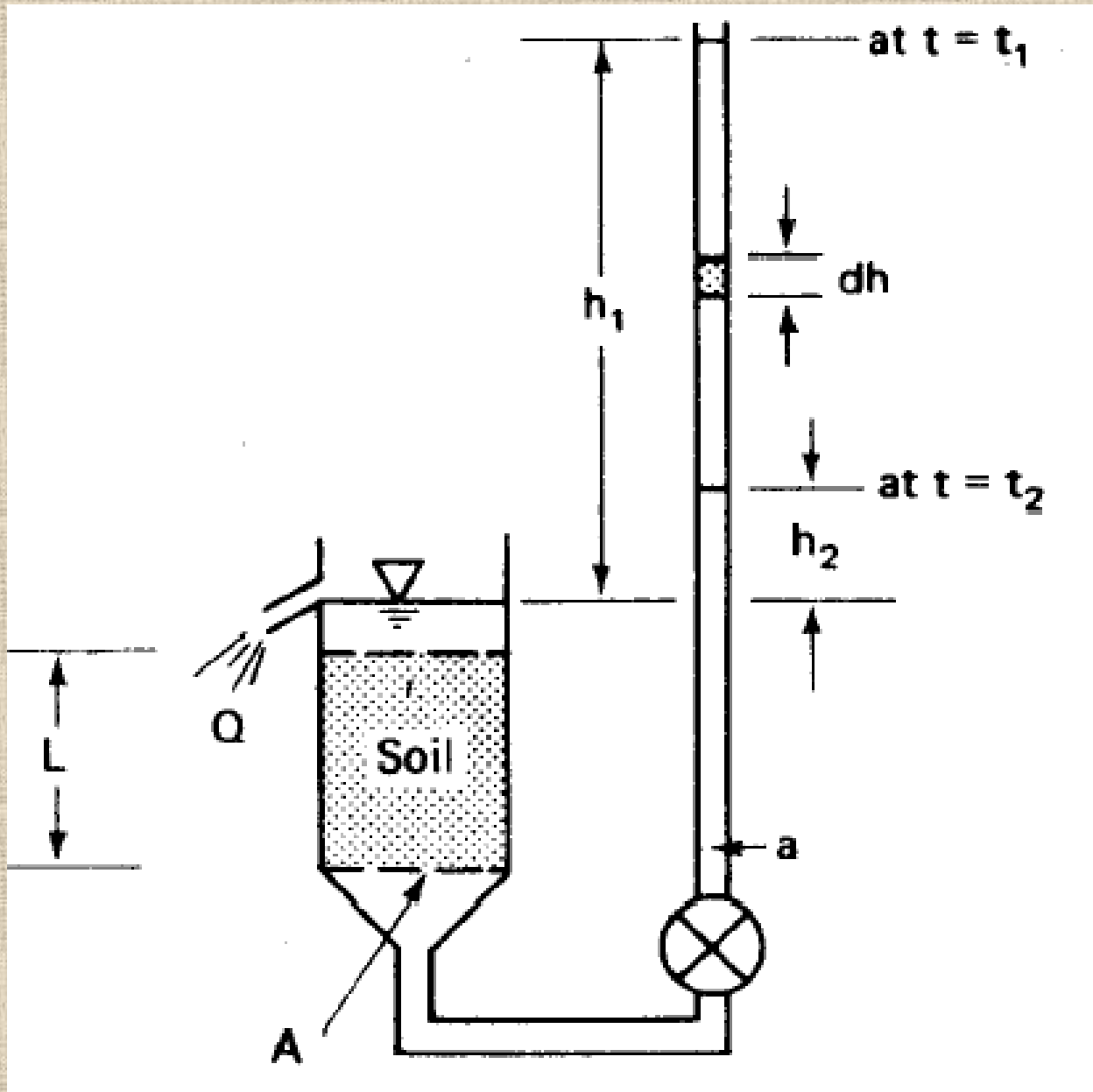
Test 2: Falling head permeameter

Untuk pasir halus, lanau, bisa juga untuk lempung

- Sebuah tabung silinder (feeder, penghantar)
- Penetrasi air kedalam sampel silinder akibat head loas dalam tabung feeder
- Harus diperhatikan:
 - Tidak ada penguapan → tes lambat
 - Jumlah air yang cukup
 - Sebuah prosedur yang lambat

2. Falling Head Permeameter



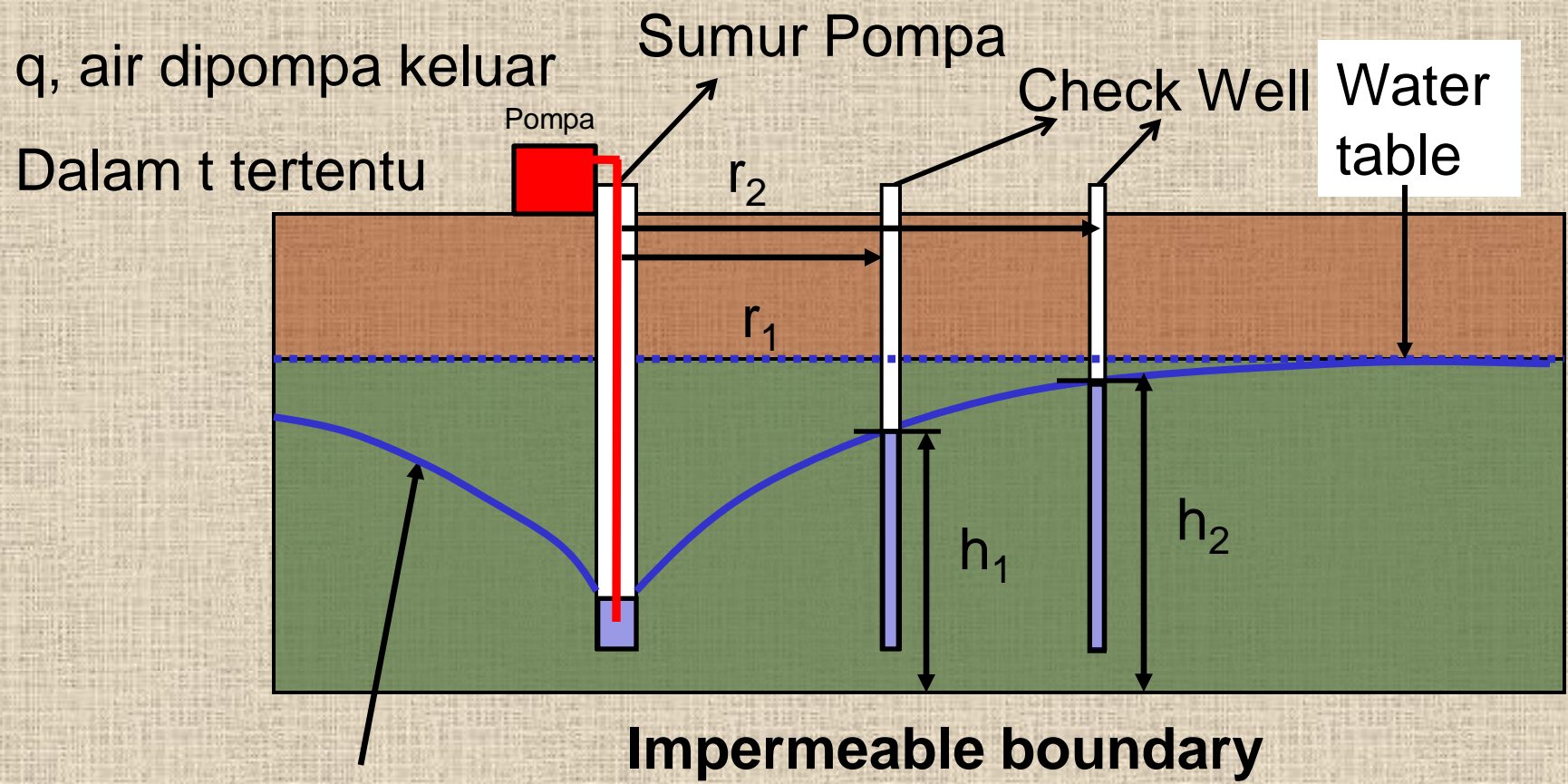


Falling head test

- Sampel tanah dengan panjang L , dan luas A
- Aliran dalam tabung = aliran dalam sampel tanah

$$k = \left[\frac{a}{A} \left(\frac{L}{(t_2 - t_1)} \right) \right] \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

3. Field testing – Pumping Test



**Drawdown –
phreatic or
flow line**

Pumping test

Data yang dibutuhkan

1. Muka air tanah
2. Profil tanah, termasuk kedalaman lapisan impermeable

Harus mampu

1. Menurunkan m.a.t
2. Menciptakan aliran, phreatic line

Solution

Axi-symmetric problem

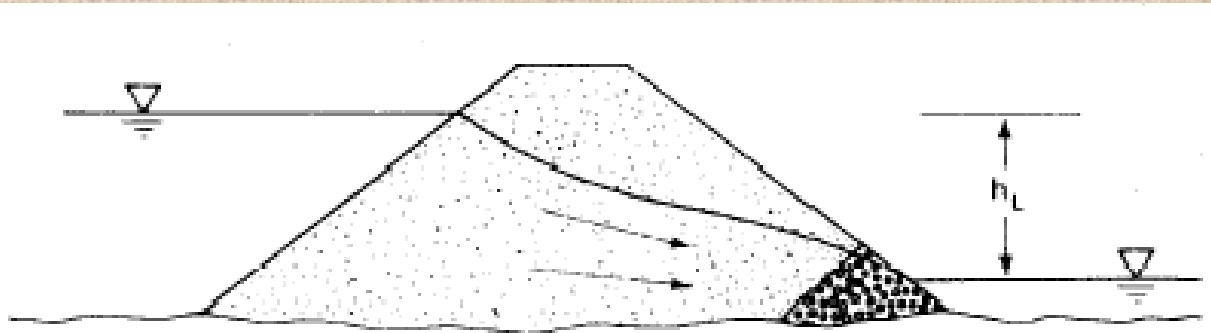
By integration of Darcy's Law,

$$k = \left(\frac{q}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} \right) \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)$$

Modifikasi rumus, akan tergantung pada kondisi profil tanah (confined/unconfined aquifer)

FLOW NET

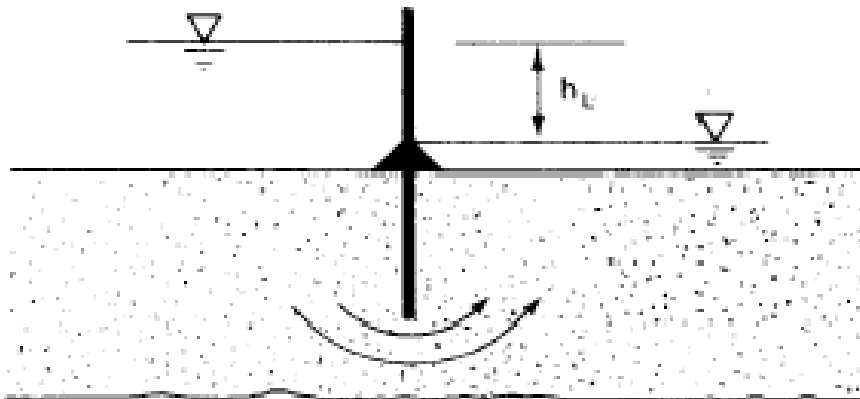
Jejaring aliran



(a)

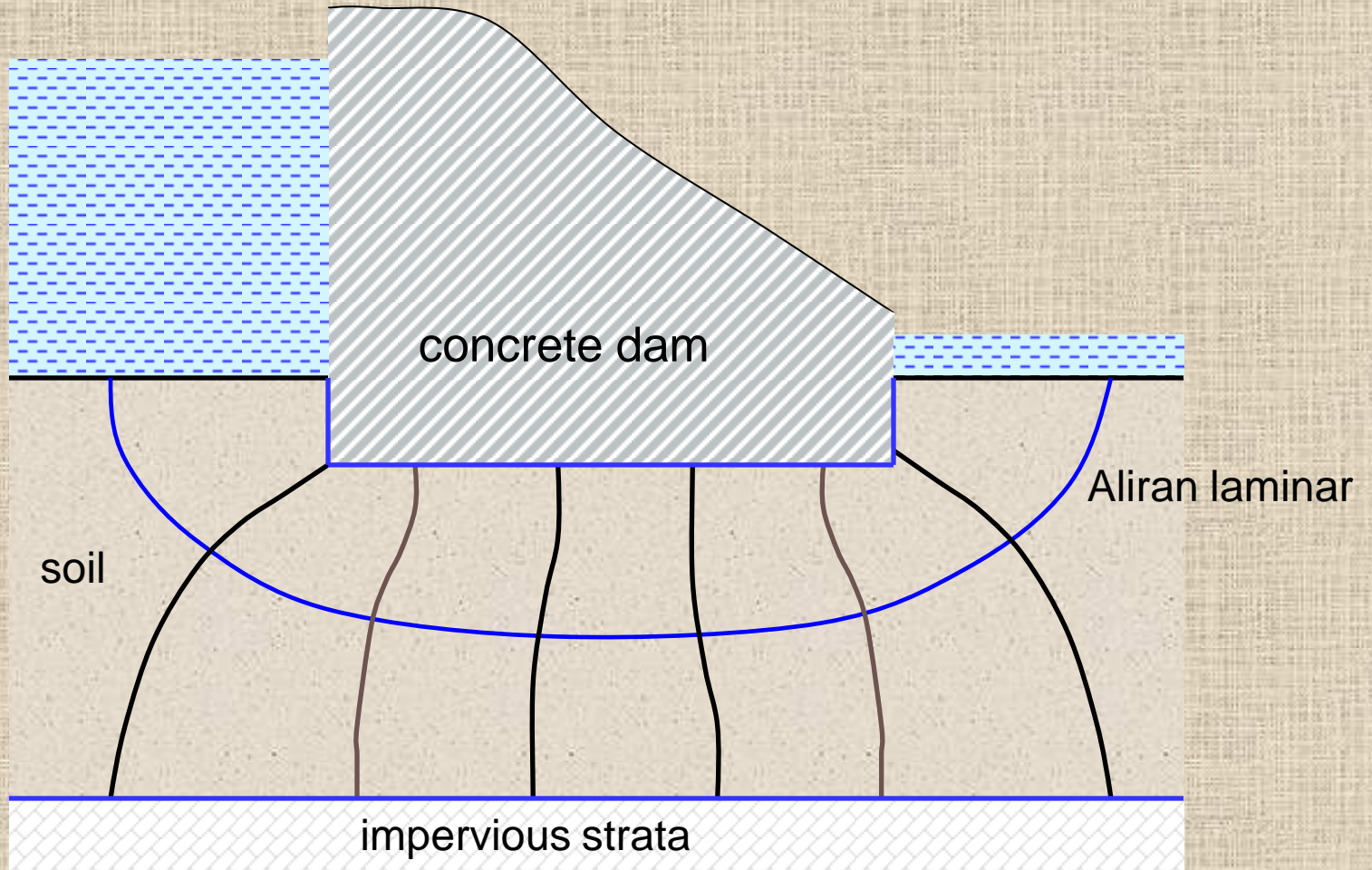
Terdiri atas :

- Flow lines
- Equipotential lines



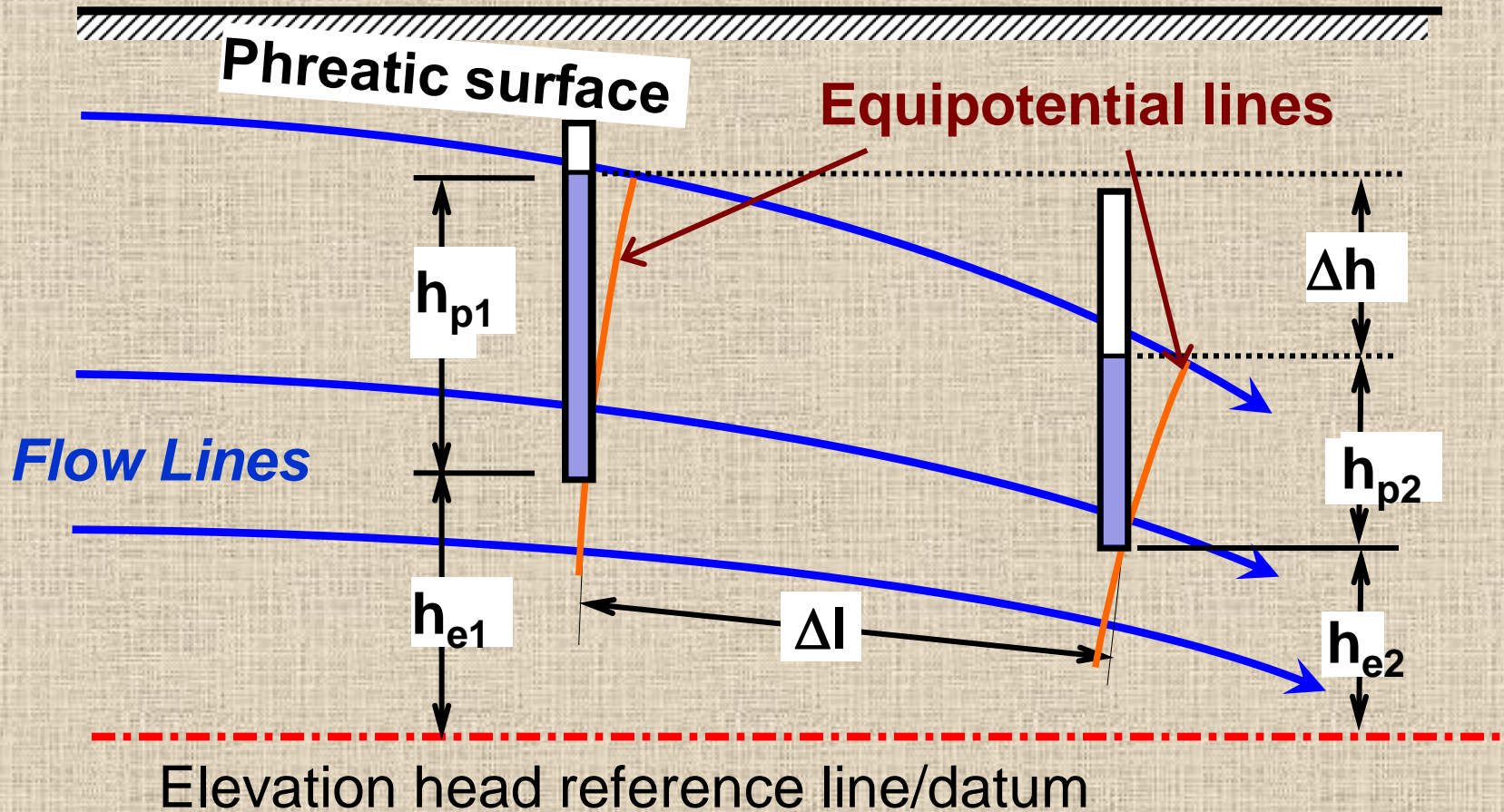
(b)

Flow Net



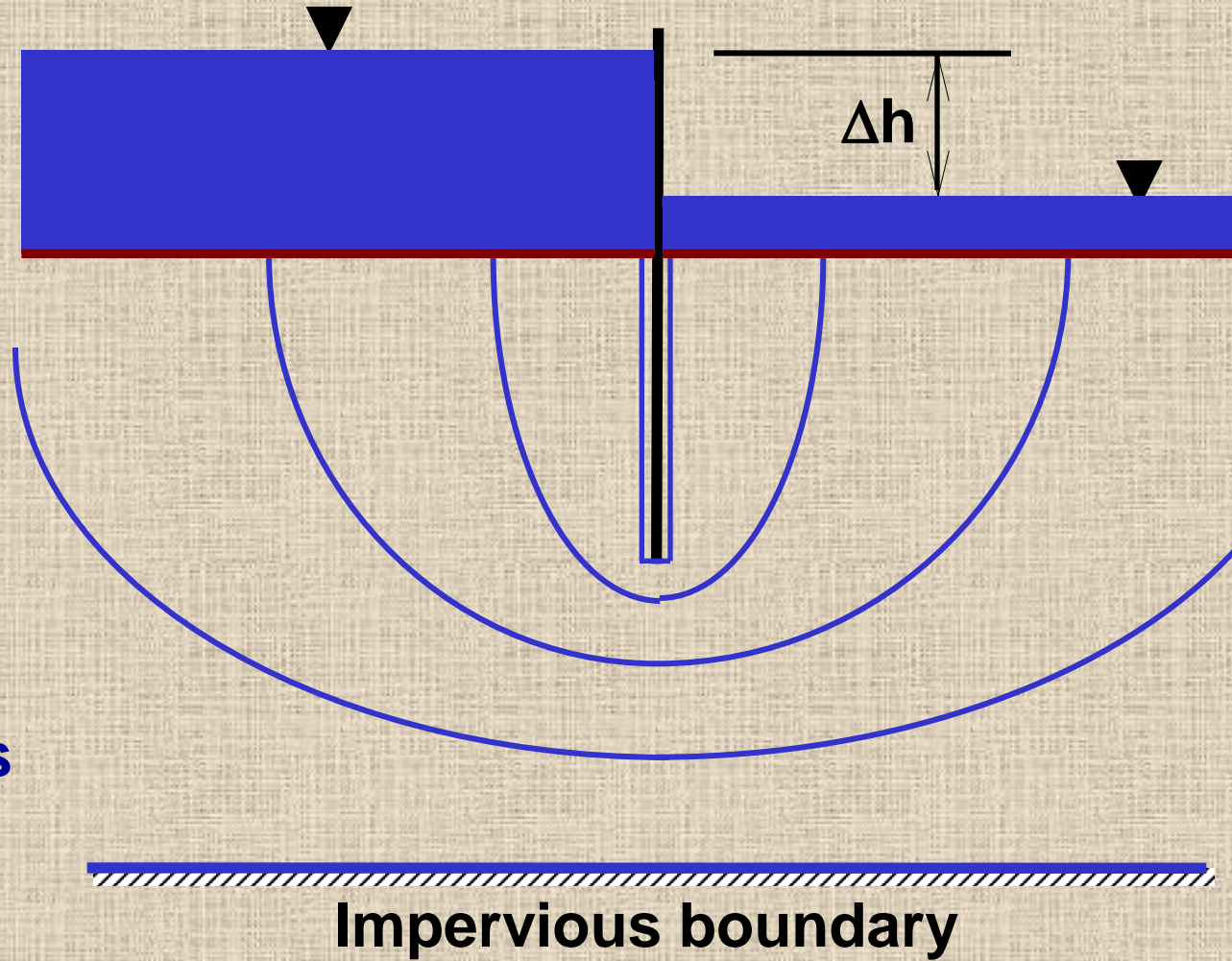
Flow Lines

Jarak terdekat/terkecil untuk air keluar



FLOW LINES

- Bergerak paralel dengan lapisan impermeable (impervious boundaries)
- Bergerak paralel dengan permukaan air
- Dasar dari bangunan air/struktur lain adalah flow line
- Lapisan impervious adalah flow line

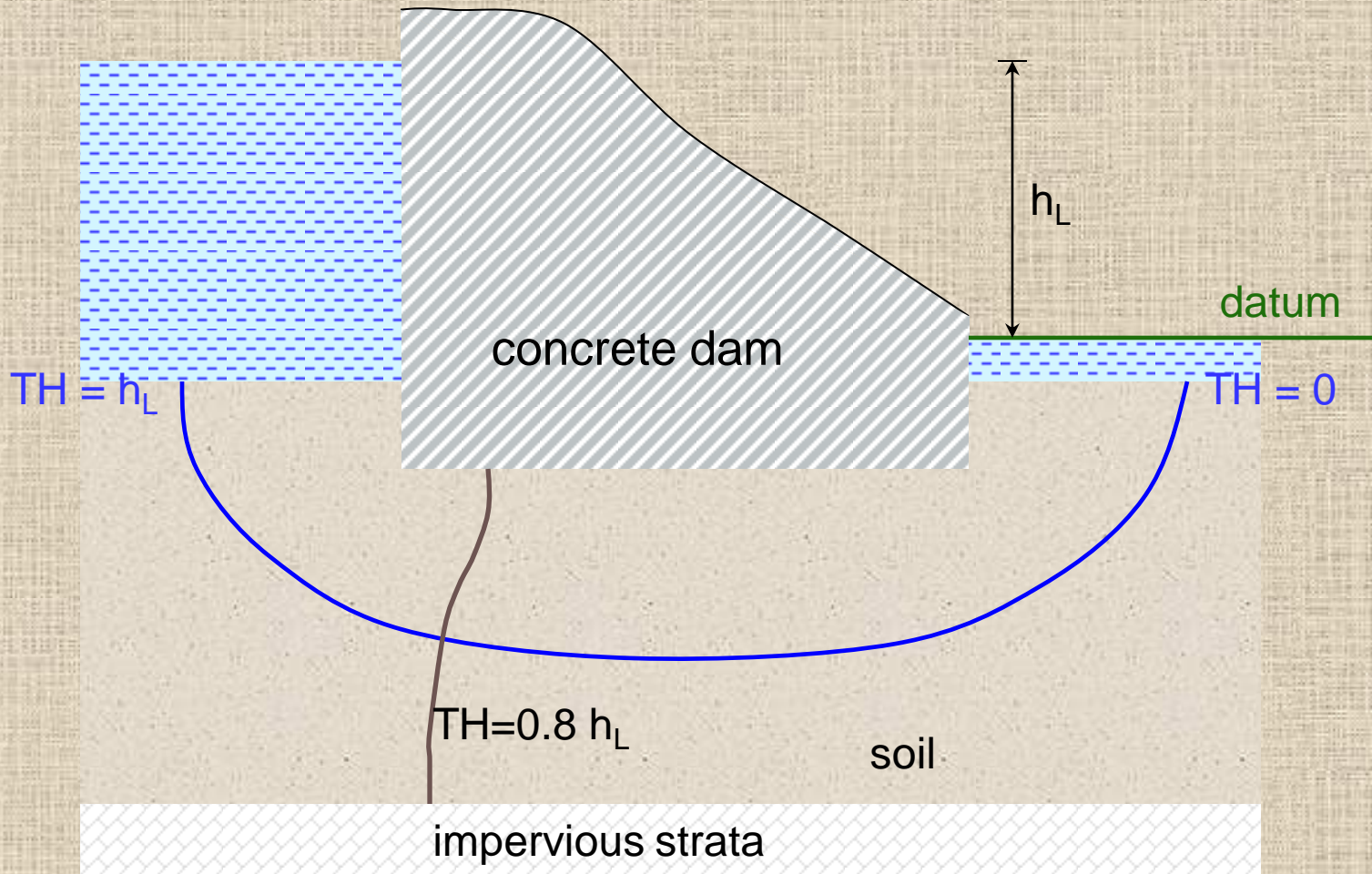


5 Flow Lines
Tentukan!!!

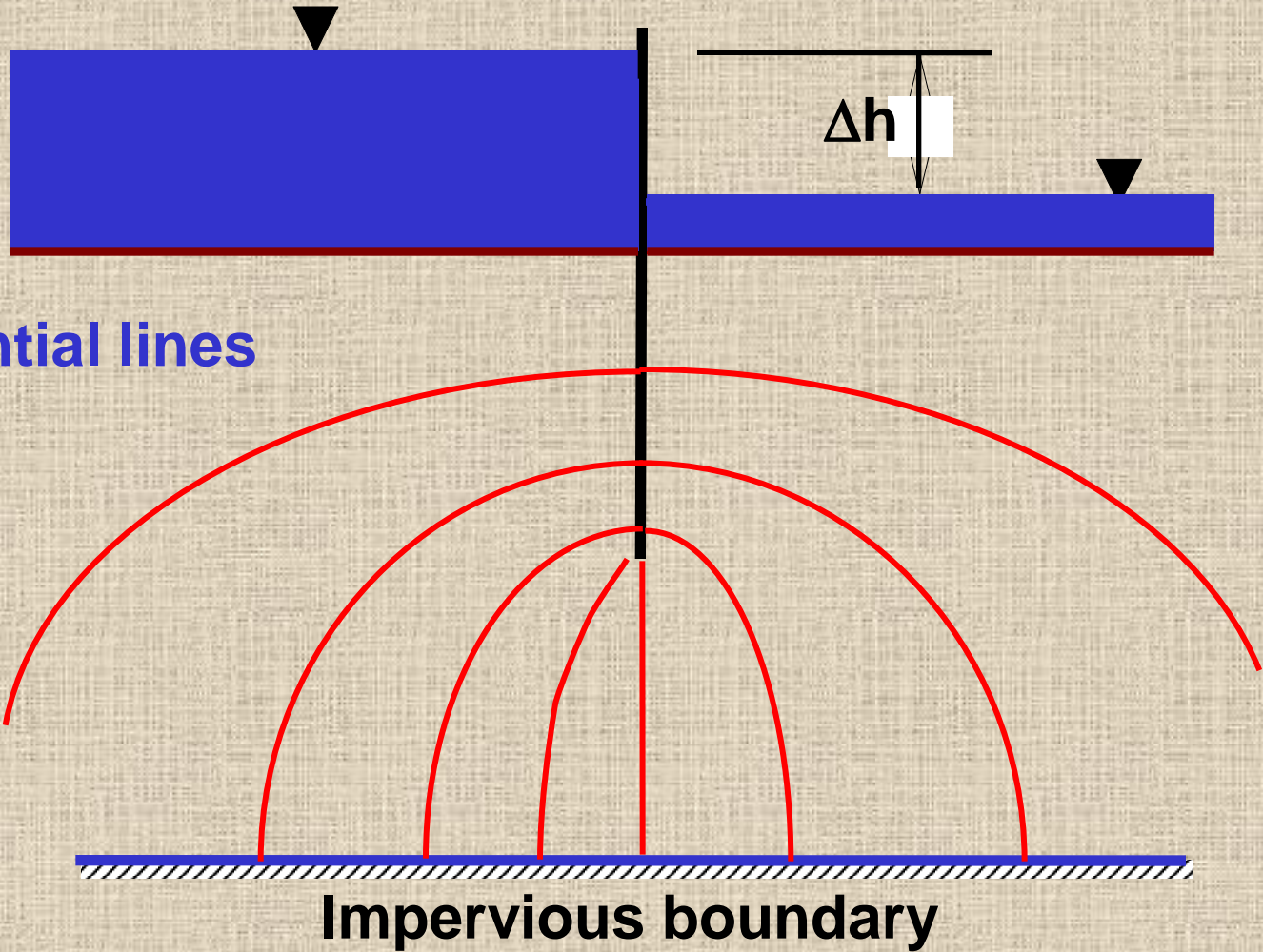
EQUIPOTENTIAL LINES

- Garis yang menunjukkan titik-titik dengan **total head** yang sama
- Equipotential line menghubungkan antara struktur/bangunan air dengan lapisan impervious
- Berpotongan dengan flowline dan permukaan tanah dengan membentuk sudut 90°
- Equipotential line berpotongan dengan lapisan impervious dan struktur, membentuk sudut 90°

EQUIPOTENTIAL LINES



EQUIPOTENTIAL LINES



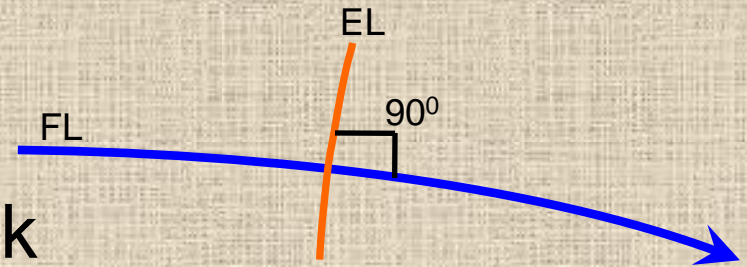
10 Equipotential lines
Tentukan!!

FLOW NET

Air mengalir mengikuti jarak yang terpendek, dengan gradien hidrolik terbesar, i_{\max}

$$i_{\max} = \frac{\Delta h_i}{b_{\min}}$$

Perpotongan antara garis aliran (flow line) dan Equipotential line, harus tegak lurus (90°), **Mengapa?**



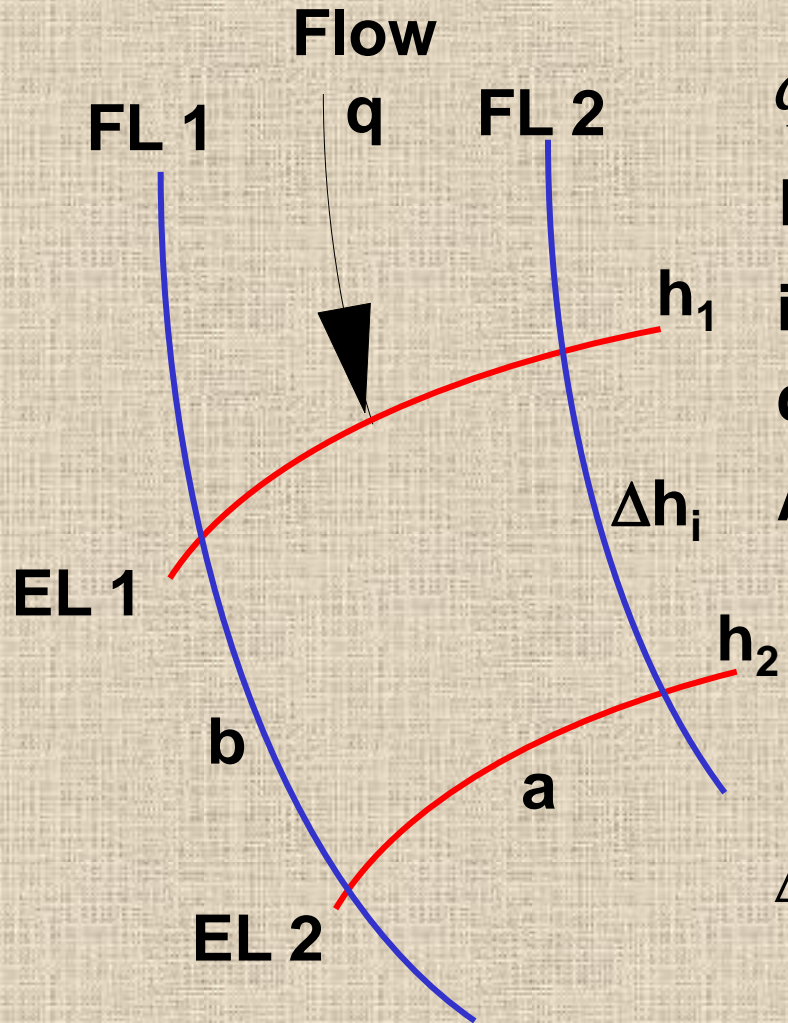
Ingat, aliran harus laminar

FLOW NET

Flownet adalah sebuah metode grafis yang menggambarkan bagaimana head atau hilangnya energi saat air mengalir melalui sebuah medium yang porous

Pada tanah yang **isotropi (isotropic)** maka air harus melalui bagian dengan gradien hidrolik terbesar

Isotropic : kondisi tanah dengan nilai permeabilitas vertikal sama dengan permeabilitas horizontal, **Anisotropic ?** (akan dipelajari nanti)



$q = \text{Konstan}$

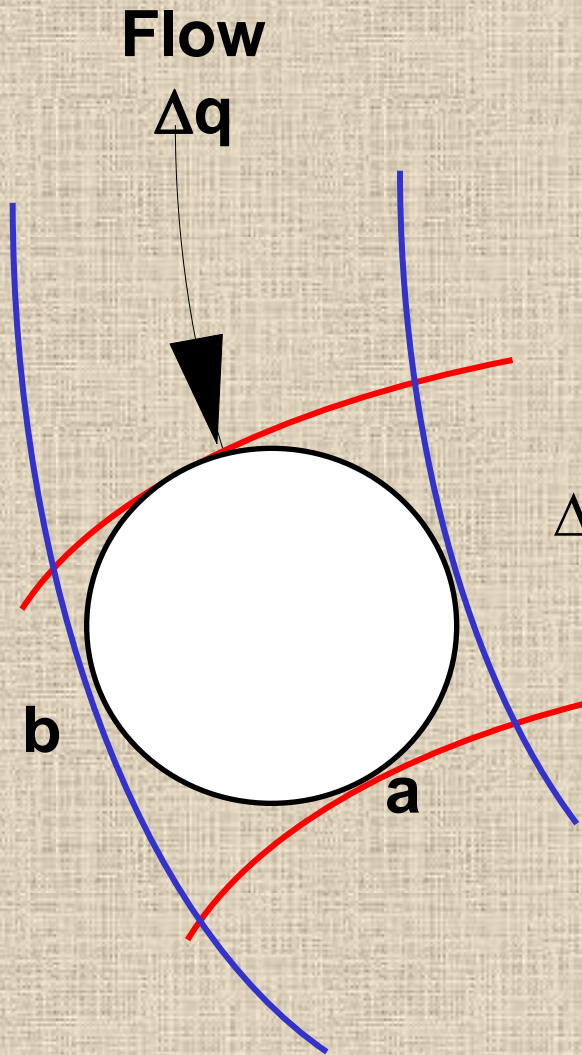
$h_2 - h_1 = \Delta h_i$

$i = \Delta h_i / l = \Delta h_i / b$

$q = k \cdot i \cdot A$

$A = a \times 1 \text{ m} = a \text{ m}^2 \rightarrow \text{plane strain}$

$$\Delta q = k \left(\frac{\Delta h_i}{b} \right) (a) \text{ per m}$$

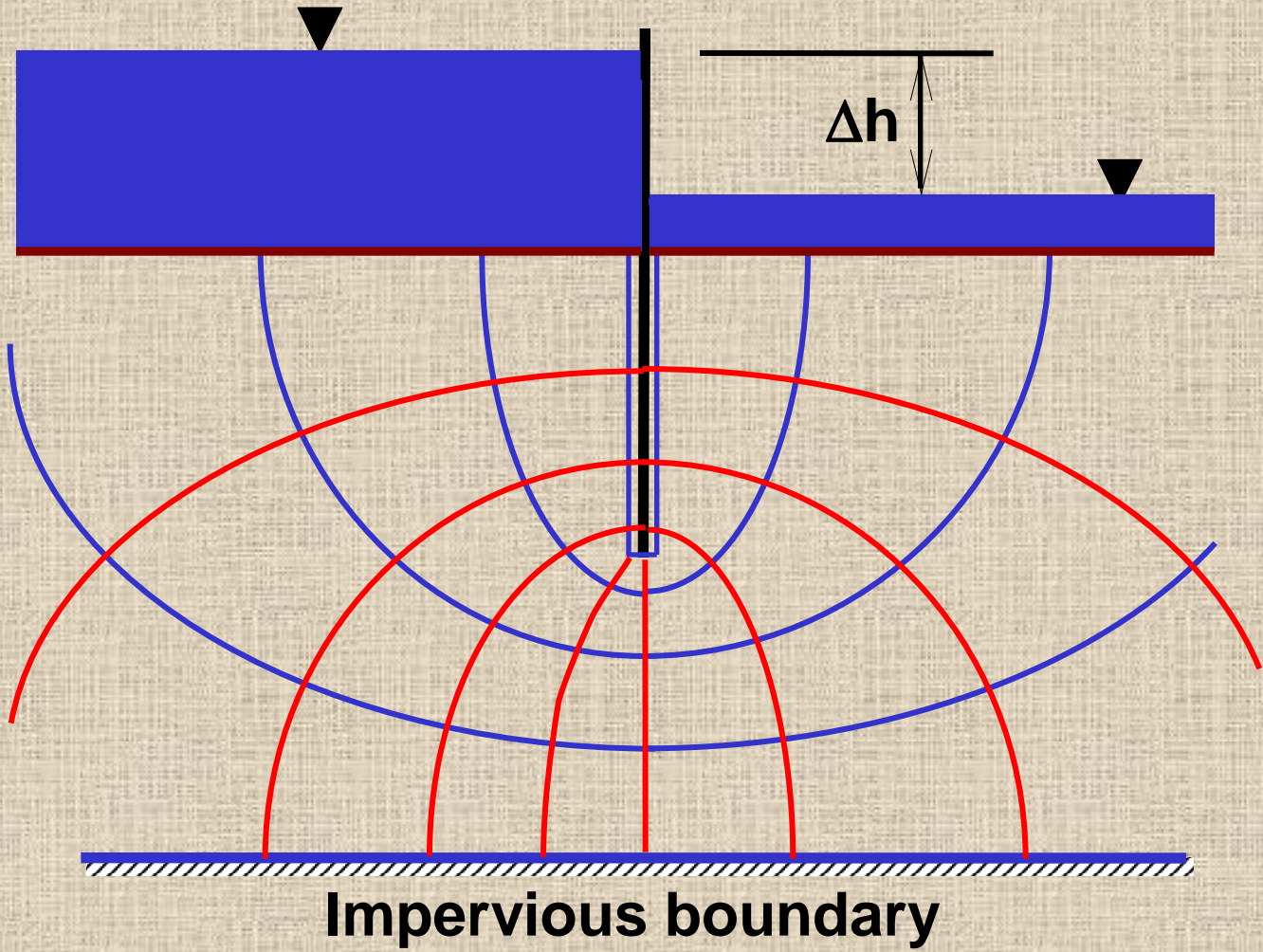


$$\Delta q = k \left(\frac{\Delta h_i}{b} \right) (a) \text{ per m}$$

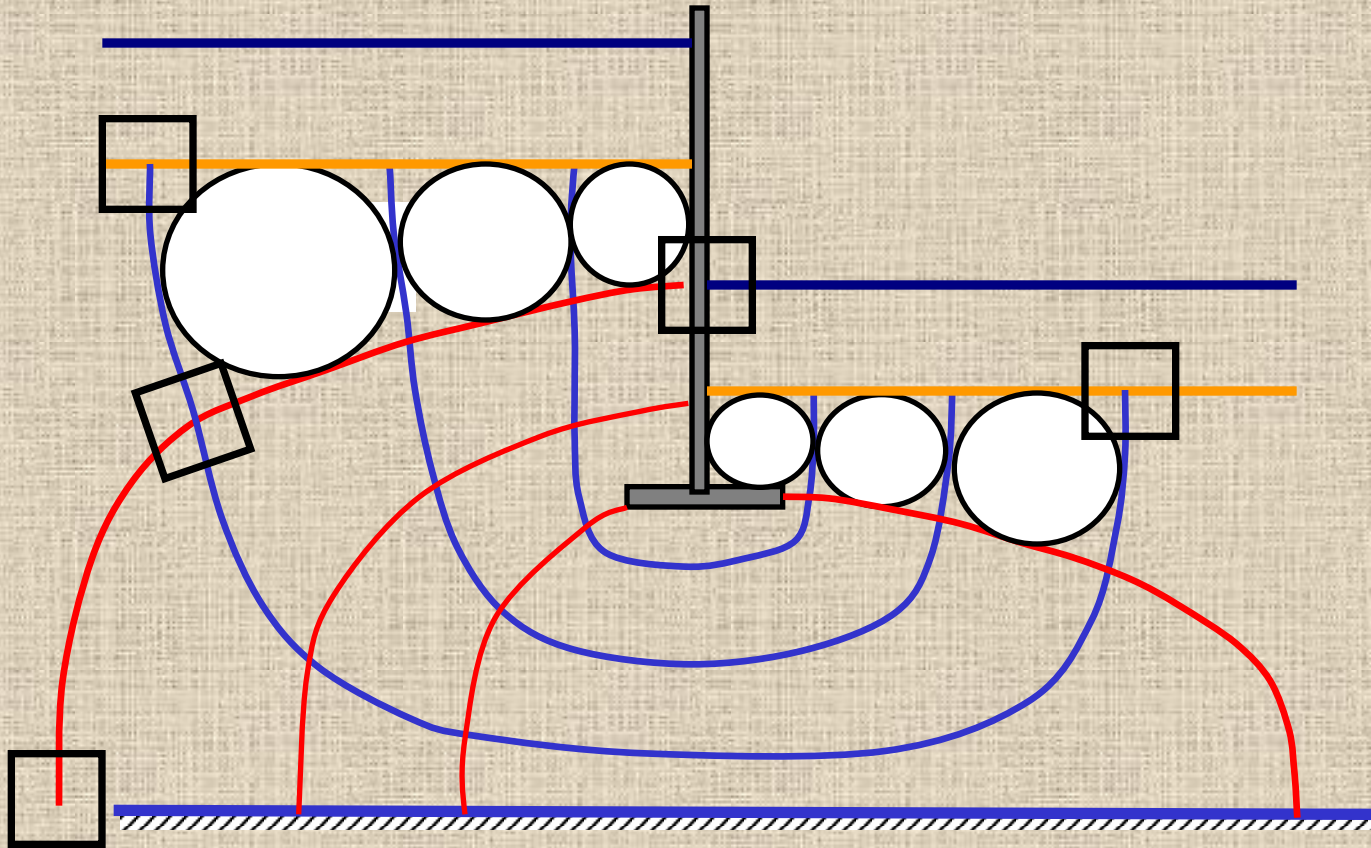
$\Delta q = \text{konstan}$ jika a dan b konstant

Agar konstan maka $a = b$

Harus bujur sangkar, atau lingkaran



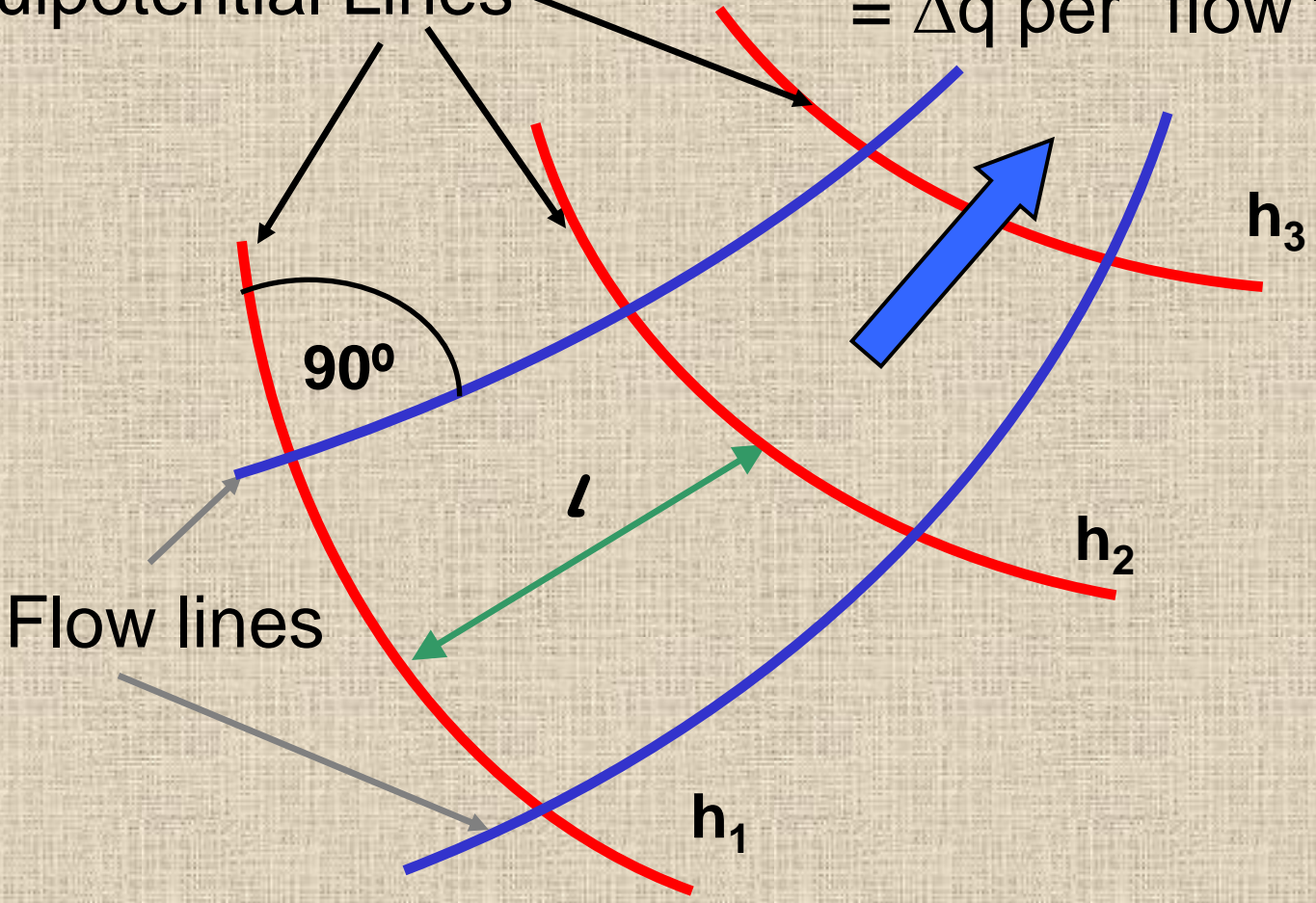
Flownet Construction



Discharge in flow direction,

Equipotential Lines

= Δq per "flow tube"



90°

h_3

h_2

h_1

Flow lines

Number of Drops dan Number of Flow

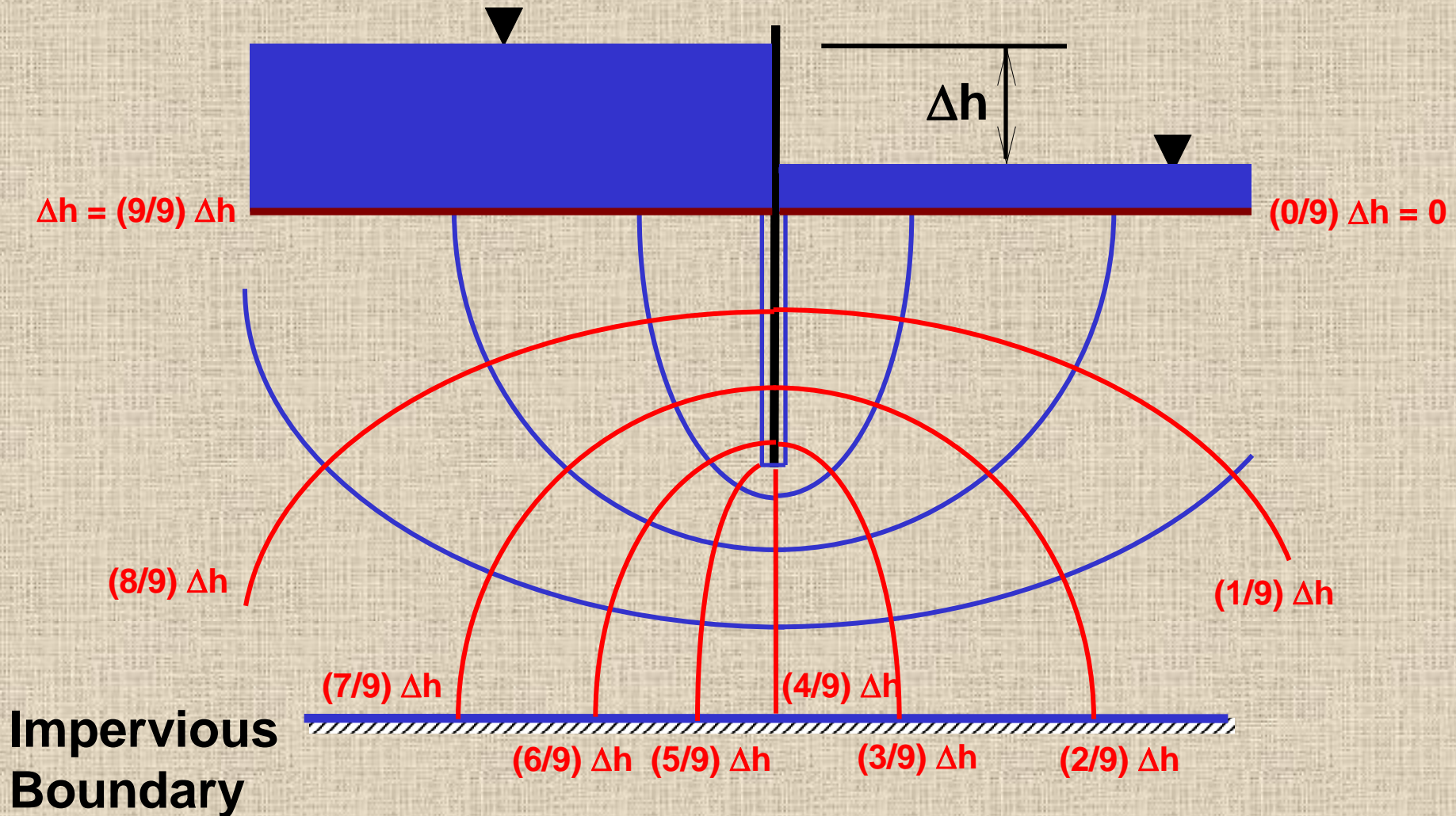
Flow Channel/Flow Tube/Tabung Aliran : Tabung atau Saluran diantara 2 garis aliran

Number of flow (N_f) : jumlah total dari flow channel atau secara sederhana $\rightarrow N_f = (\text{jumlah flow line} - 1)$

Equipotential drop : menggambarkan penurunan head dari satu garis equipotential ke garis equipotential berikutnya, terletak diantara 2 garis equipotential

Number of drop (N_d) : jumlah total dari equipotential drop atau secara sederhana $\rightarrow N_d = (\text{jumlah equipotential line} - 1)$

Number of Drops dan Number of Flow



Flow lines : 5

Nf : 4

Equipotential lines : 10

Nd : 9

Flow Net Calculations

N_d adalah nilai penurunan equipotential sepanjang garis aliran, maka head loss (hilangnya energi) dari satu garis equipotential ke garis equipotential berikutnya adalah :

$$\Delta h_{1-2} = \Delta(\Delta h) = \Delta h / N_d$$

dari hukum Darcy, rata-rata aliran adalah :

$$\Delta q = kiA = k \left(\frac{\Delta h_i}{b} \right) (a \times 1)$$

atau

$$\Delta q = k \left(\frac{\Delta h}{N_d} \right) \left(\frac{a}{b} \right)$$

Flow Net Calculations

tapi $a = b$

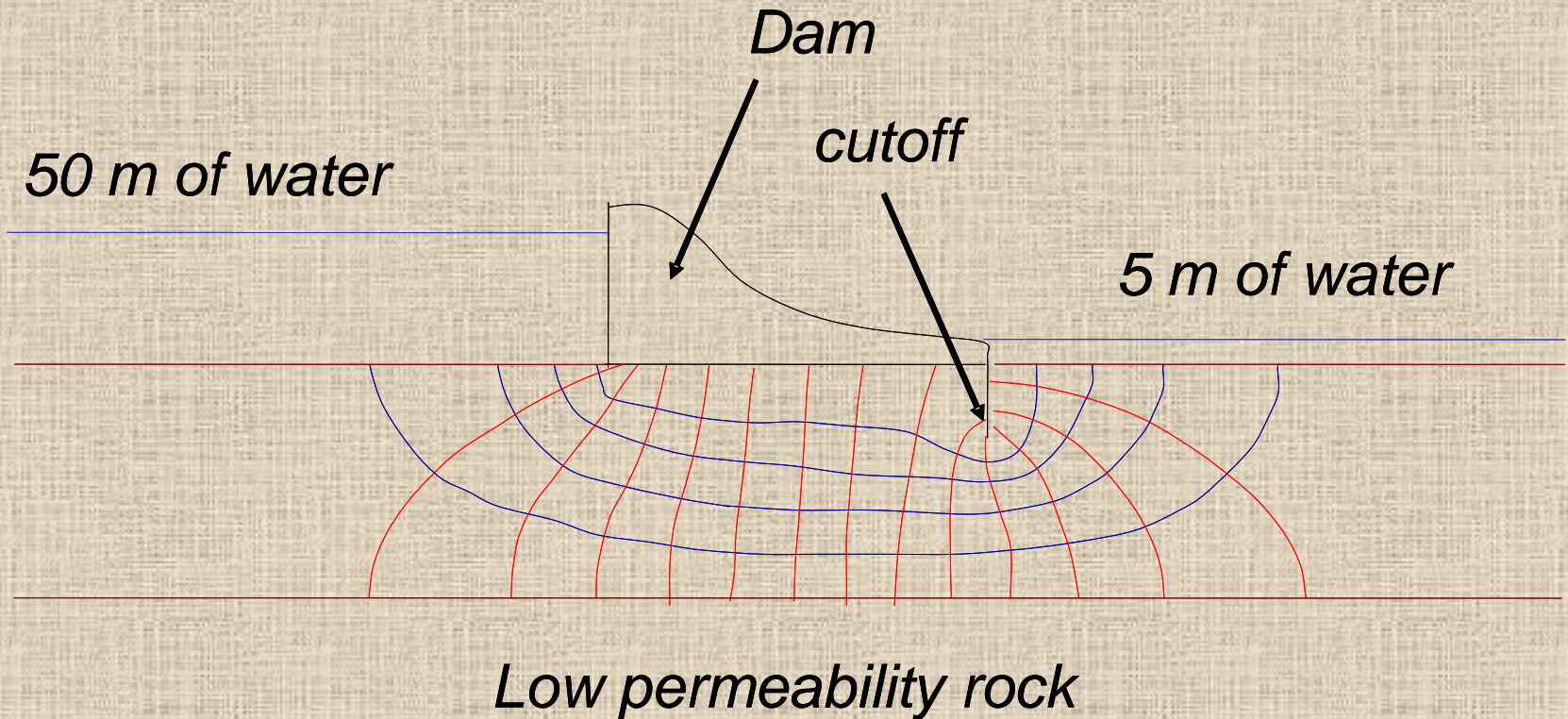
dan jumlah channel total adalah N_f ,

Maka debit air per satuan lebar adalah :

$$q = k \frac{N_f}{N_d} \Delta h$$

INGAT !! Persamaan ini hanya untuk “persegi” ($a = b$)

Contoh Soal : Jika $k = 10^{-7}$ m/sec, berapa debit perhari yang melalui dam selebar 100 m?



Jawab

Diketahui

$$N_f = 5$$

$$N_d = 14$$

$$\Delta h = 45 \text{ m}$$

$$k = 10^{-7} \text{ m/sec}$$

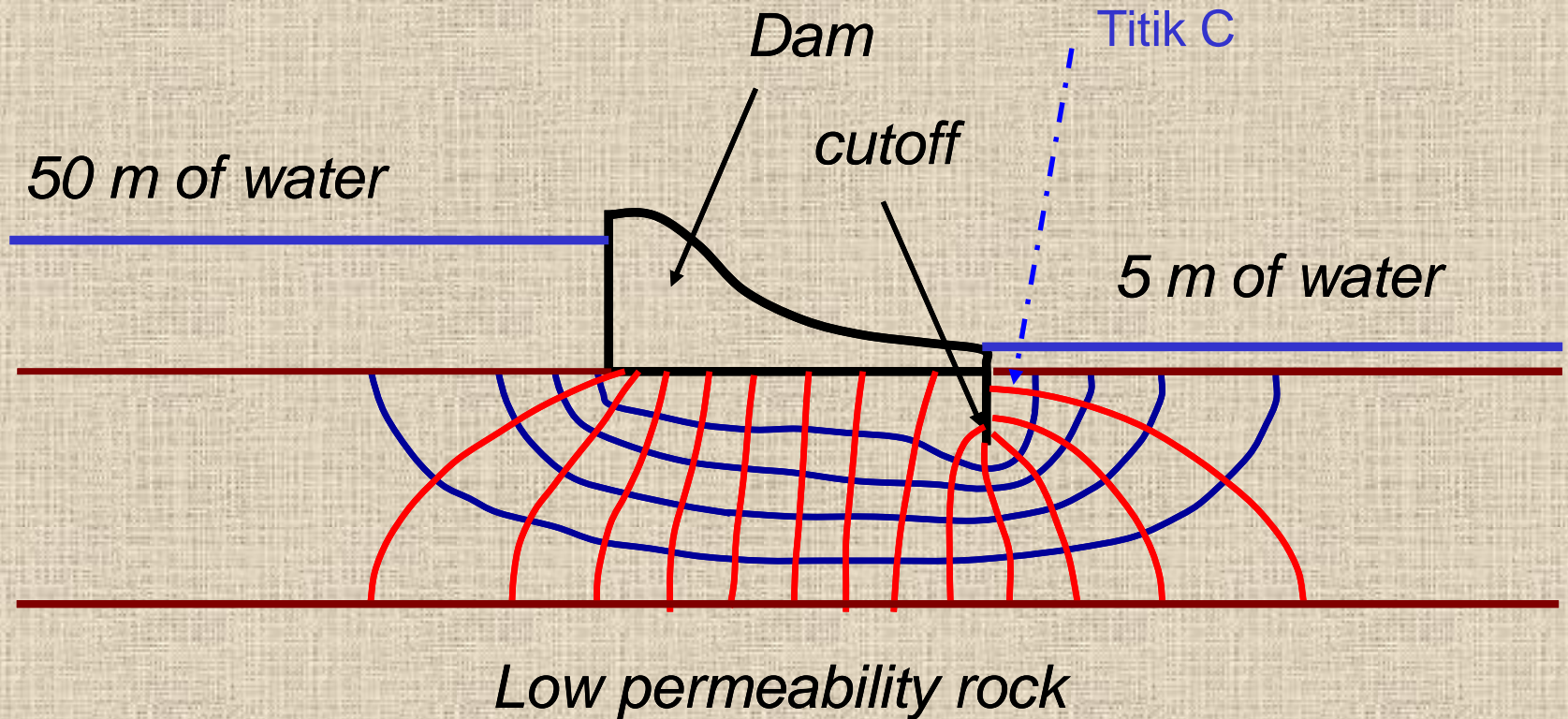
$$q = k \frac{N_f}{N_d} \Delta h$$

$$q = 10^{-7} \cdot (5/14) \cdot 45 \cdot 100 \text{ m lebar}$$

$$q = 0.000161 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$q = 13.9 \text{ m}^3/\text{day}$$

Contoh Soal : berapa nilai gradien hidrolik (i) pada titik C?



Jawab

Δh pada titik C

$$\Delta h = (1/14) \cdot 45$$

$$\Delta h = 3.2 \text{ m}$$

Average length (l)
of flow is about 3
m

$$i = \Delta h / l$$

$$i_{cr} = (\gamma' / \gamma_w)$$

$$i = \Delta h / l$$

$$i = 3.2 / 3 = 1.06$$

Critical hydraulic gradient, i_c

The value of i for which ***the effective stress*** in the saturated system becomes ZERO!

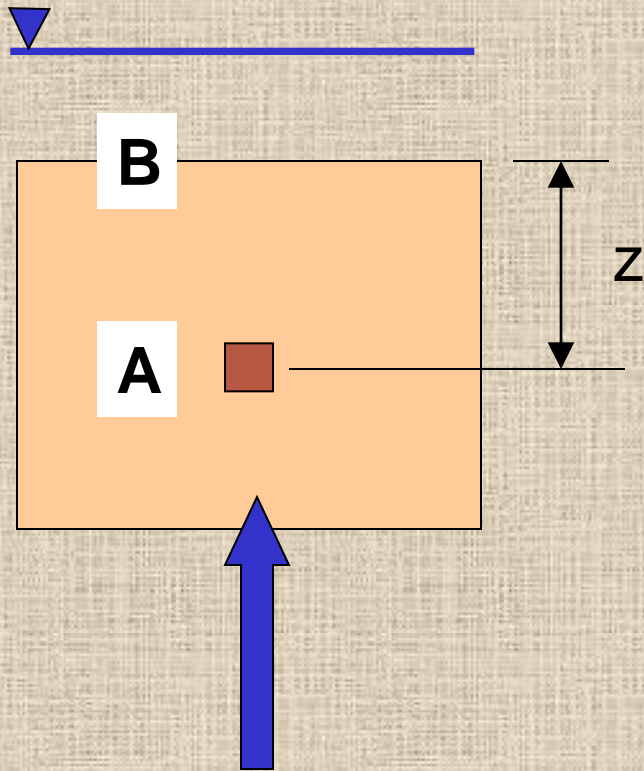
Consequences:

no stress to hold granular soils together

∴ soil may flow ⇒

“boiling” or “piping” = EROSION

Seepage Condition – upward flow of water



$$\sigma = \gamma_{\text{sat}}z = \text{total stress}$$

Δu due to seepage,

$$= i(z)(\gamma_w)$$

(represents proportion of Δh occurring over length AB)

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$= (\gamma_{\text{sat}}z) - (\gamma_w z + i(z)\gamma_w)$$

$$\sigma' = \gamma'z - i(z)\gamma_w$$

$$\sigma' = 0, \text{ when } \gamma'z = i(z)\gamma_w \quad \underline{\text{OR}} \quad i = (\gamma' / \gamma_w)$$

Likelihood of Erosion

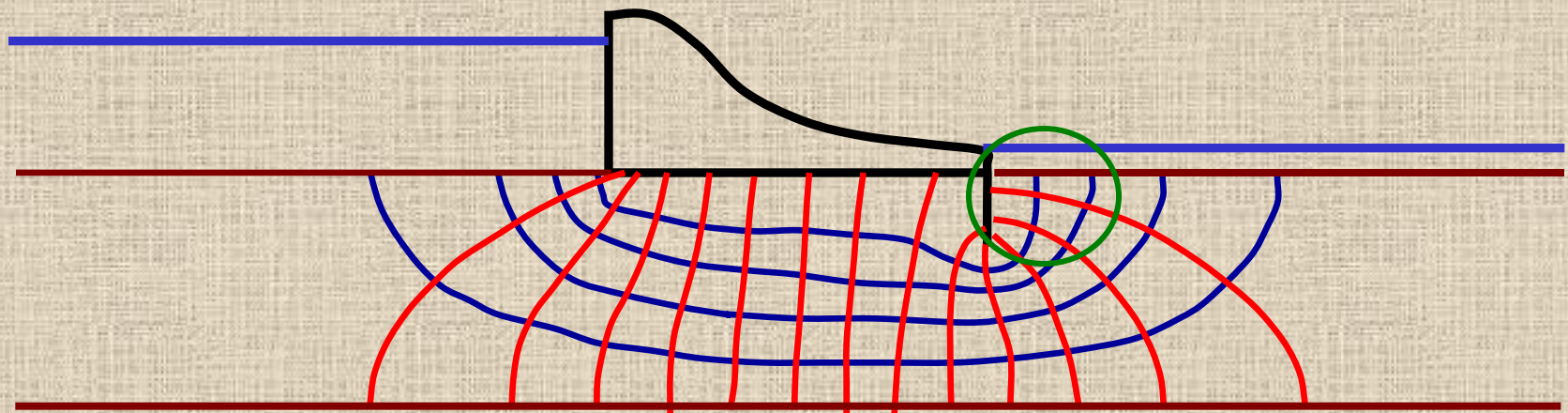
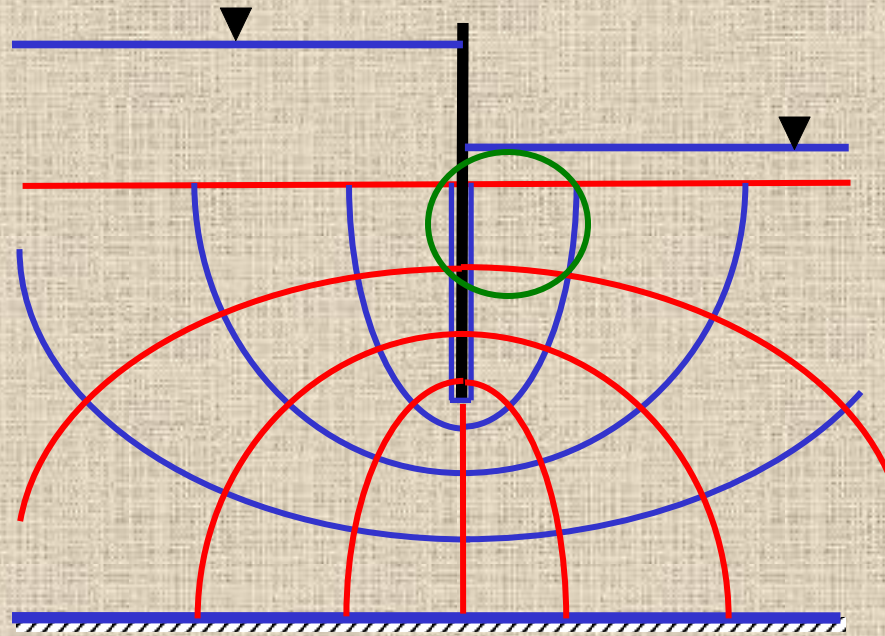
GRANULAR SOILS chiefly!

When the effective stress becomes zero, no stress is carried by the soil grains

Note: when flow is downwards, the effective stress is increased!

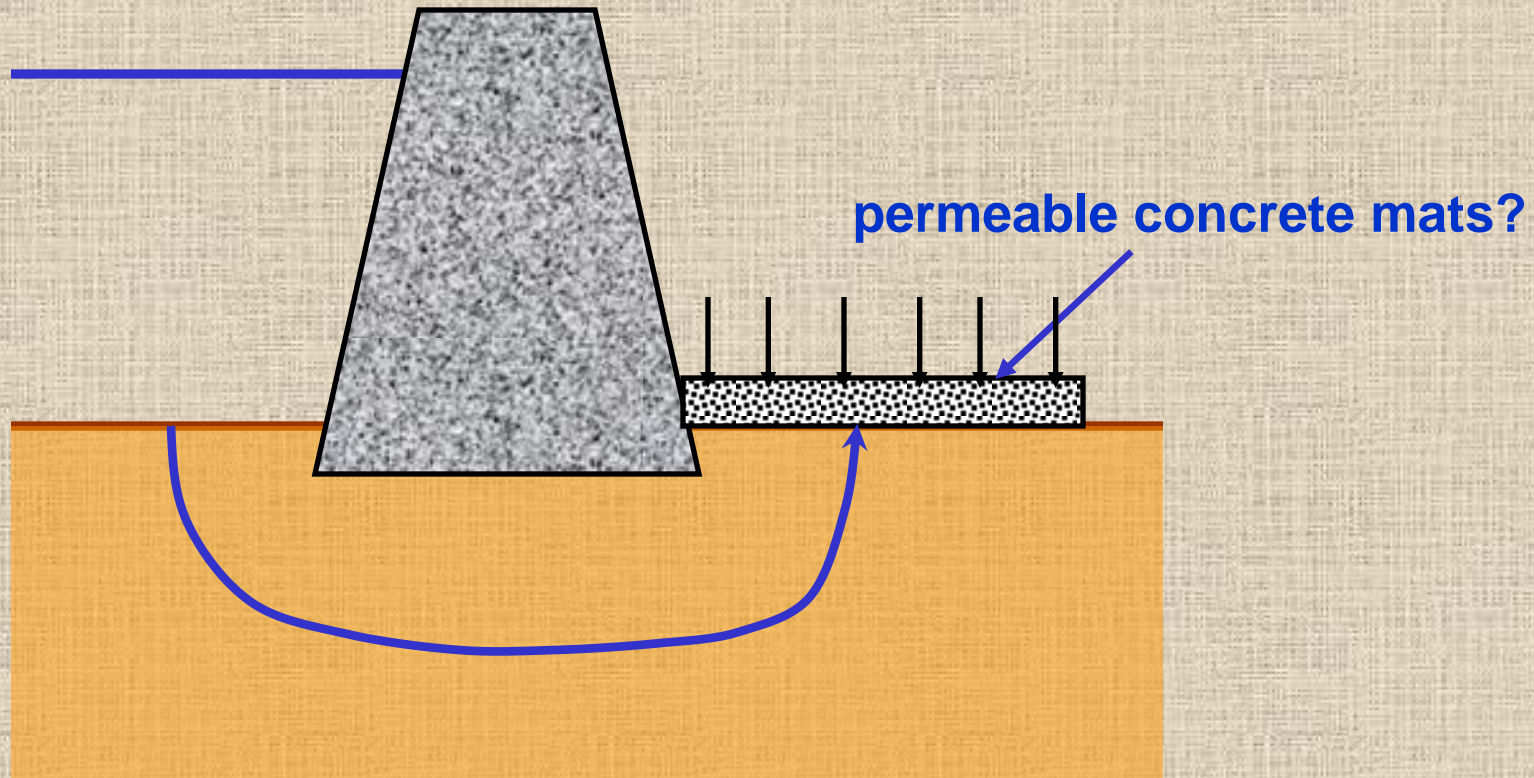
So the erosion problem and ensuing instability is most likely for **upward flow**,

i.e. water exit points through the foundations of dams and cut-off walls



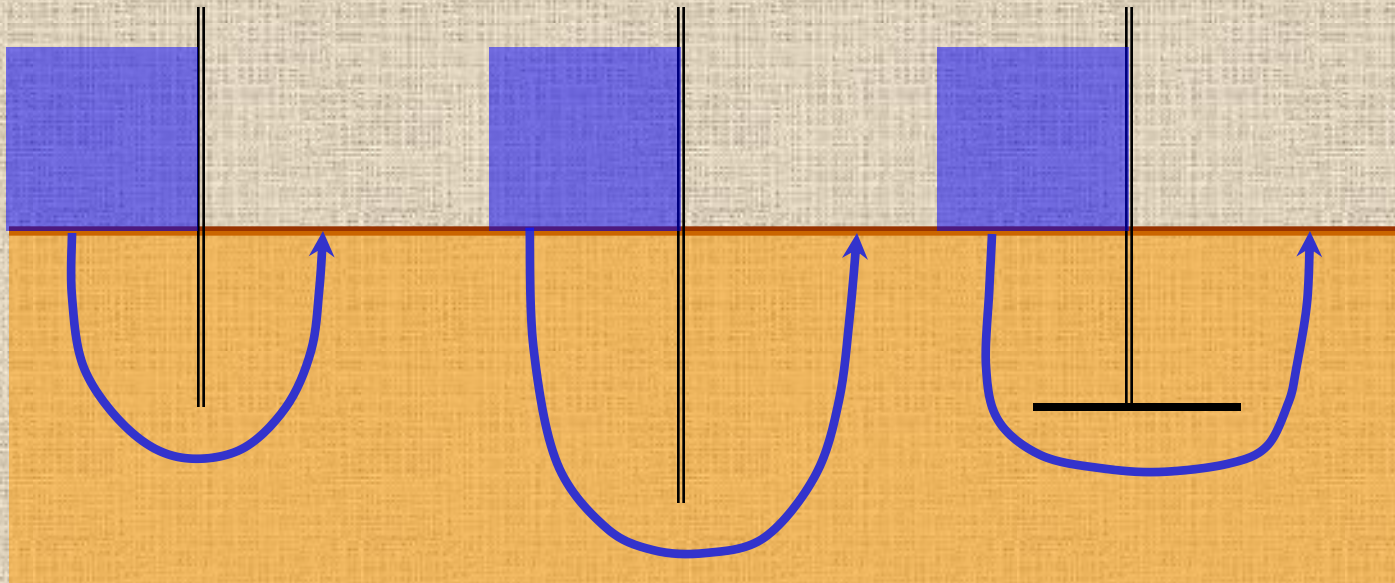
Minimising the risk of erosion

1. Add more weight at exit points

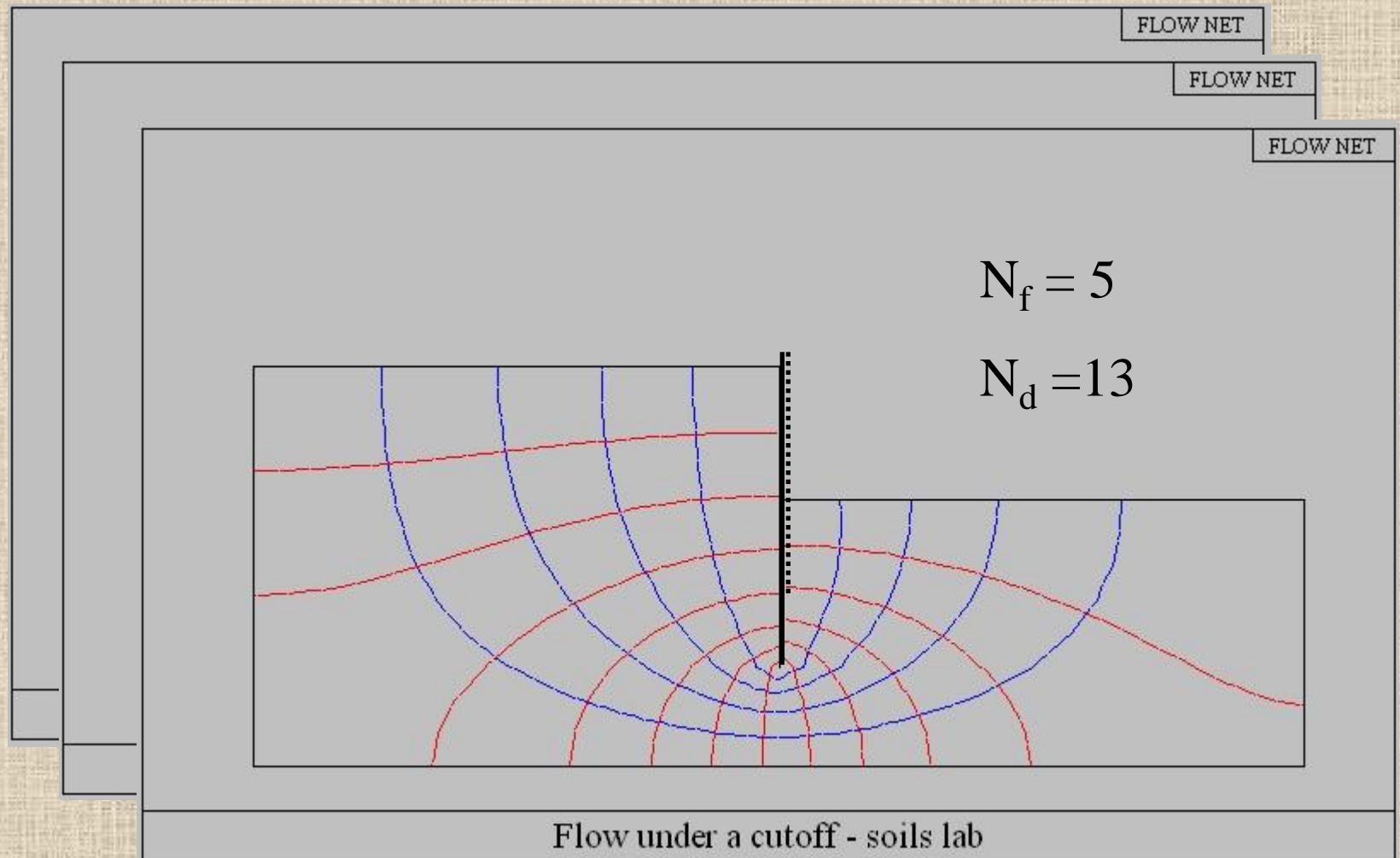


Lengthen flow path?

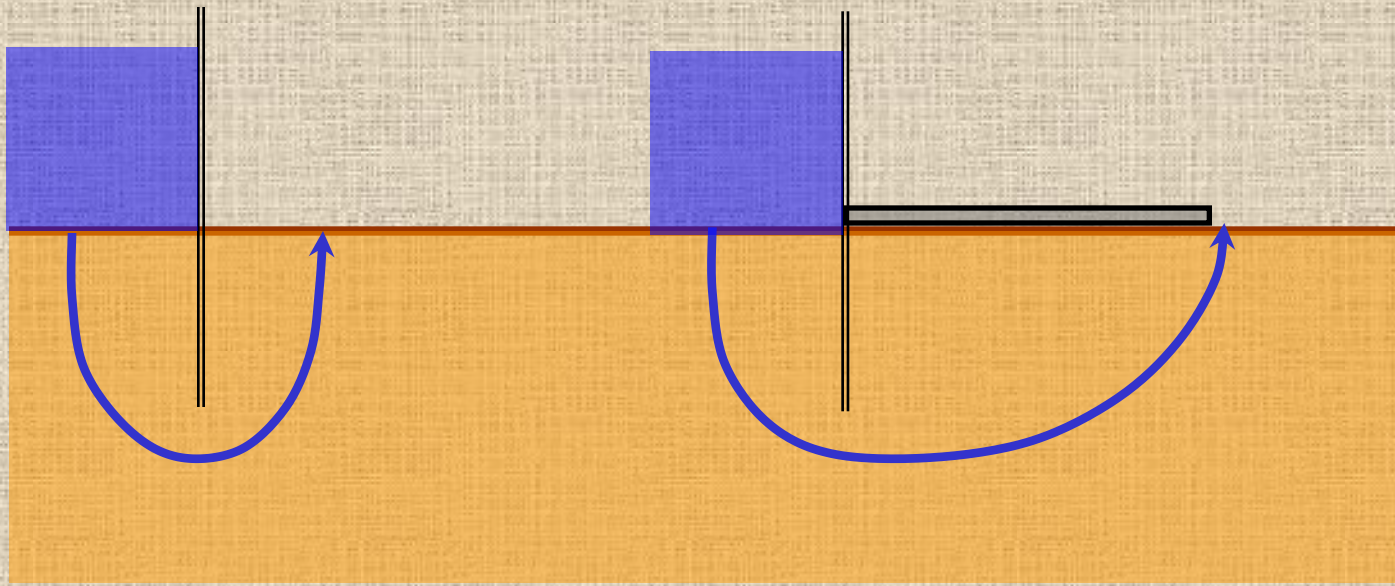
1. Deeper cut-offs
2. Horizontal barriers
3. Impermeable blanket on exit surface



Simple cut-offs (FESEEP)



“Impermeable” Clay Blanket



Summary: Key Points

- Heads in soil
- Darcy's Law
- Coefficient of permeability
- Measurement of permeability
- Flownets
- Flownet rules
- Seepage from flownets
- Piping, boiling or erosion
- Critical hydraulic gradient

Exercises

- a) Draw a flow net for seepage under a vertical sheet pile wall penetrating 10 m into a uniform stratum of sand 20 m thick.
- b) If the water level on one side of the wall is 11 m above the sand and on the other side 1.5 m above the sand, compute the quantity of seepage per unit width of wall.
[$k = 3 \times 10^{-5}$ m/s]
- c) What is the factor of safety against developing the “quick” condition on the outflow side of the wall?
[$\gamma_{\text{sat}} = 21$ kN/m³]

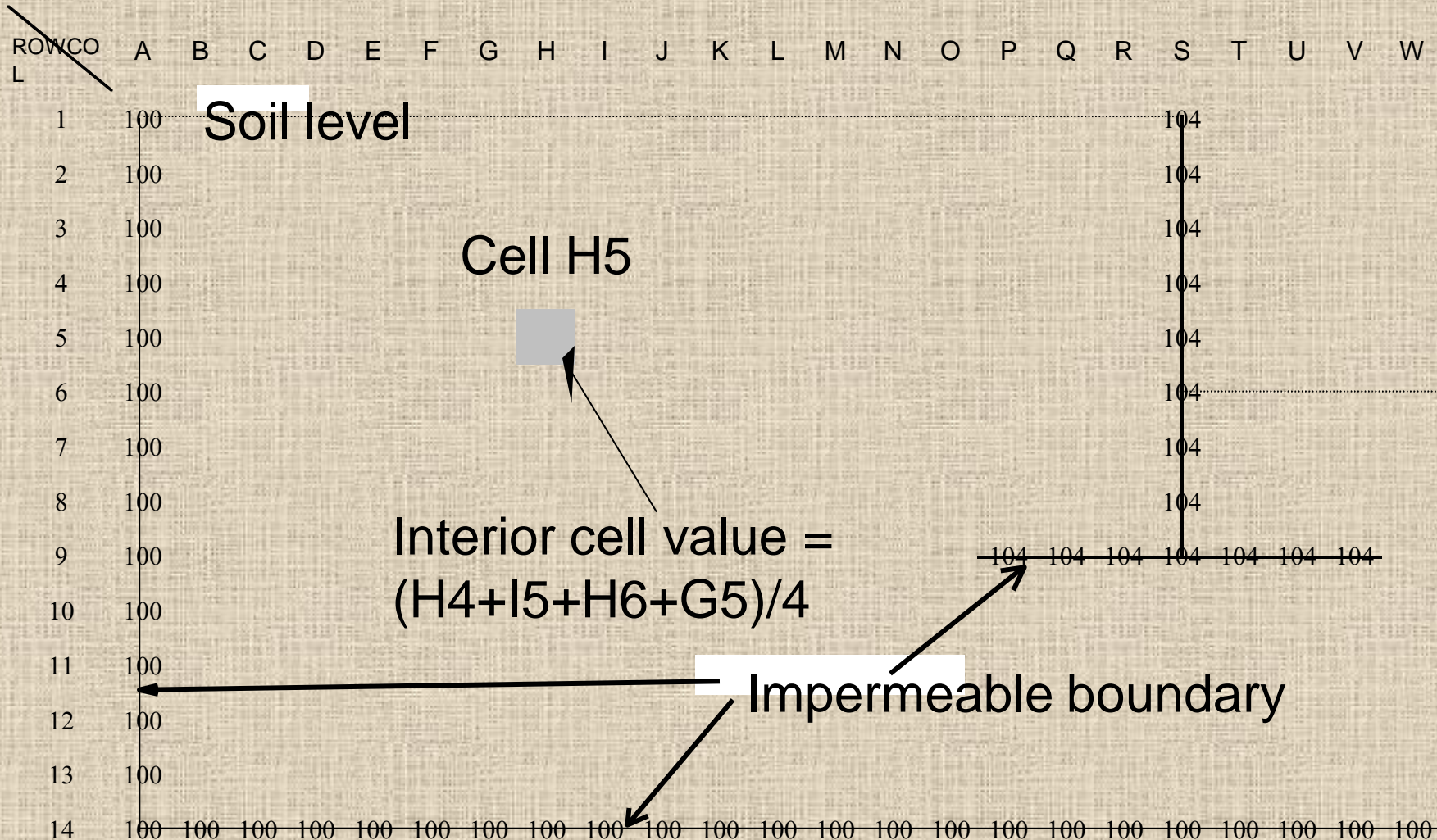
Finite Difference spreadsheet solution and other numerical approaches

Authors:

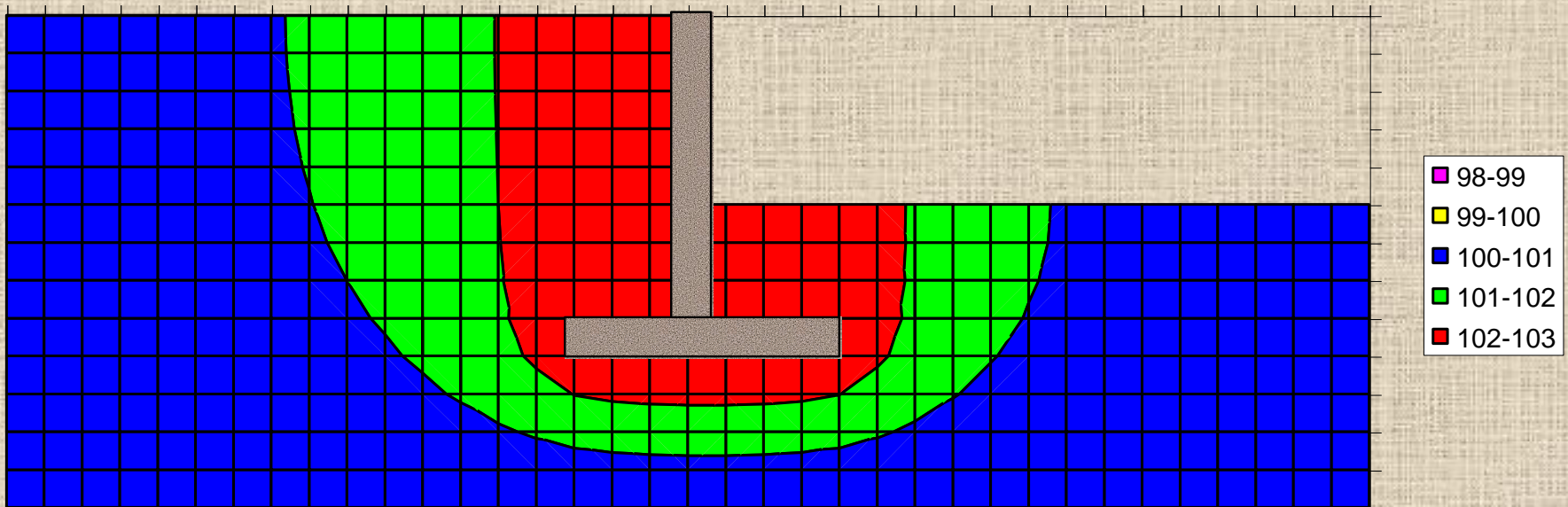
Mahes Rajakaruna (ex UniSA)
& University of Sydney (FESEEP)

Finite Difference approach to flow nets

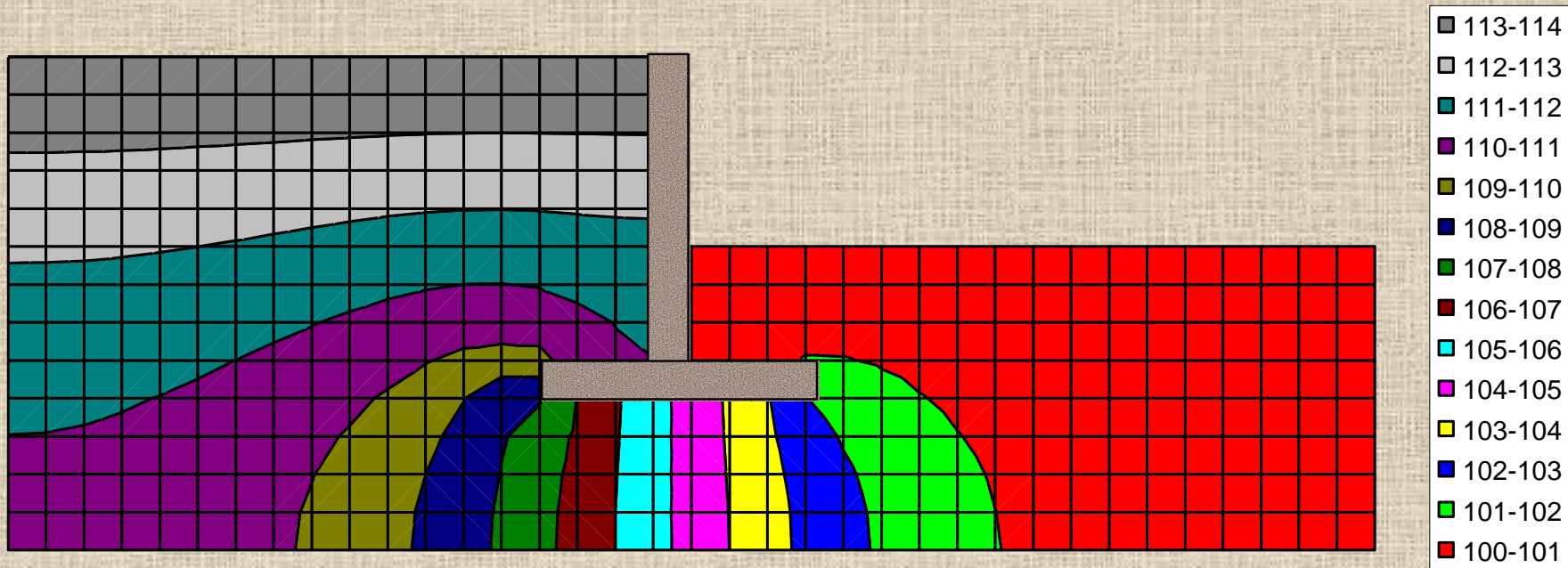
- flow line set up



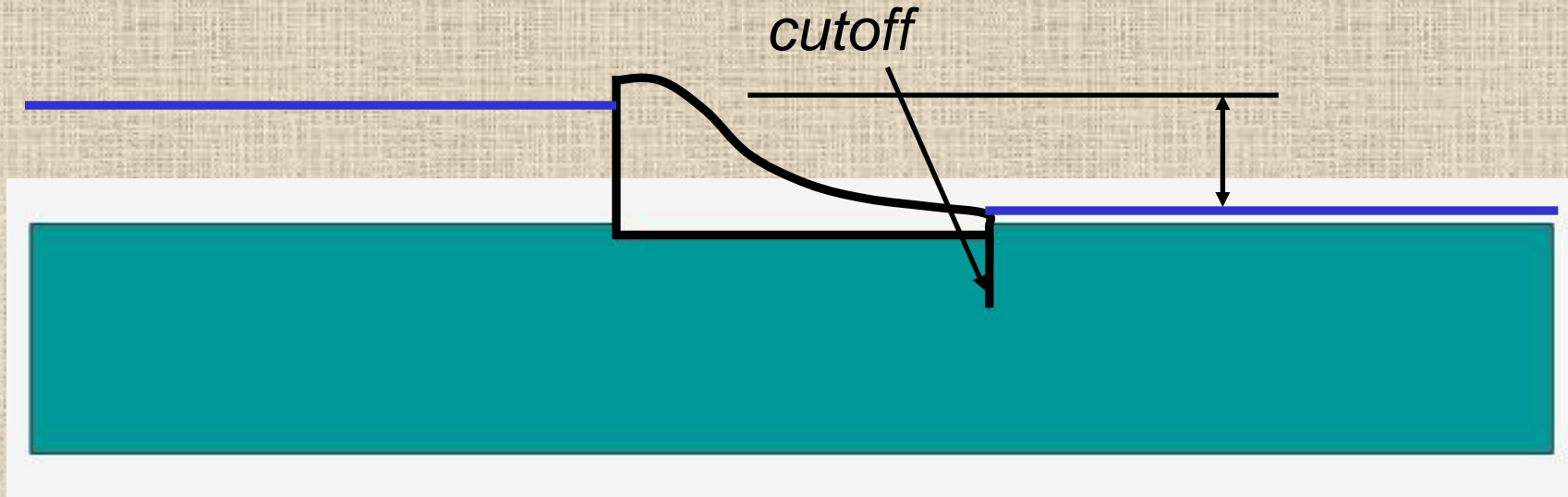
Flow lines from finite difference program (spreadsheet)



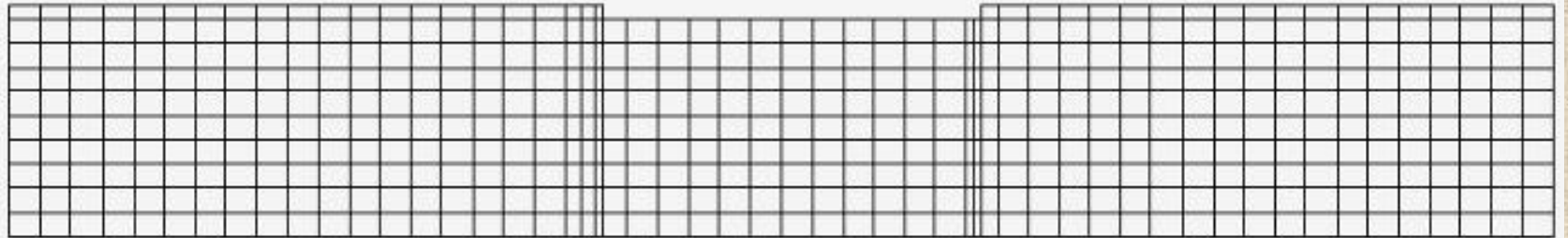
Equipotentials from finite difference program (spreadsheet)



FESEEP: University of Sydney

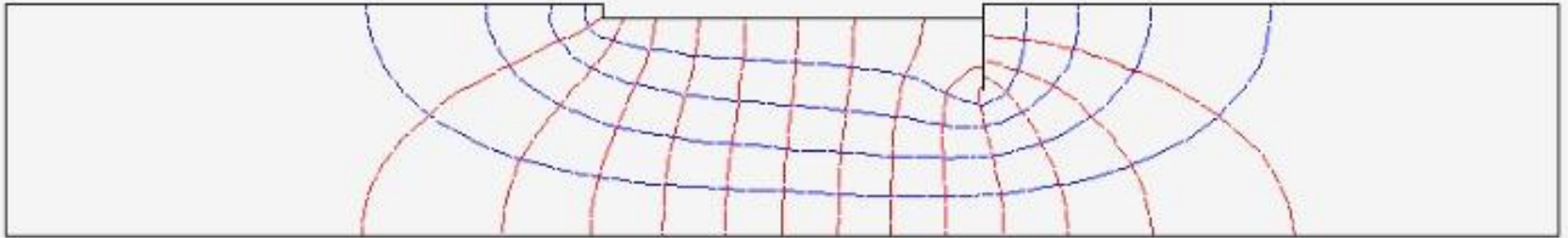


Mesh of foundation soil



FESEEP Output (University of Sydney)

flownet



pore pressures

increasing



