

# **Hidraulika Komputasi**

## **Pendahuluan-Model**

**Ir. Djoko Luknanto, M.Sc., Ph.D.**  
**Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan**  
**Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada**

# Pemodelan Kondisi Alam

- Untuk keperluan analisis dan perancangan, kondisi alam perlu ditirukan di laboratorium.
- Secara umum tiruan tersebut disebut pemodelan.
- Pemodelan secara umum dapat dibagi menjadi tiga:
  - model fisik,
  - model analogi,
  - model matematik.

# Bangunan Bendung



Bangunan pengambilan irigasi: bendung

# Pemodelan Alam - Fisik

- Pada model fisik replika/tiruan tersebut dilaksanakan dengan menirukan domain/ruang/daerah dimana fenomena/peristiwa alam itu terjadi.
- Kecocokan dari model ini tergantung dari dari seberapa mungkin kesebangunan (geometris, kinematis, dan dinamis) di alam dapat ditirukan dalam model.
- Contoh: model bendung, model bangunan pelimpah, model karburator.

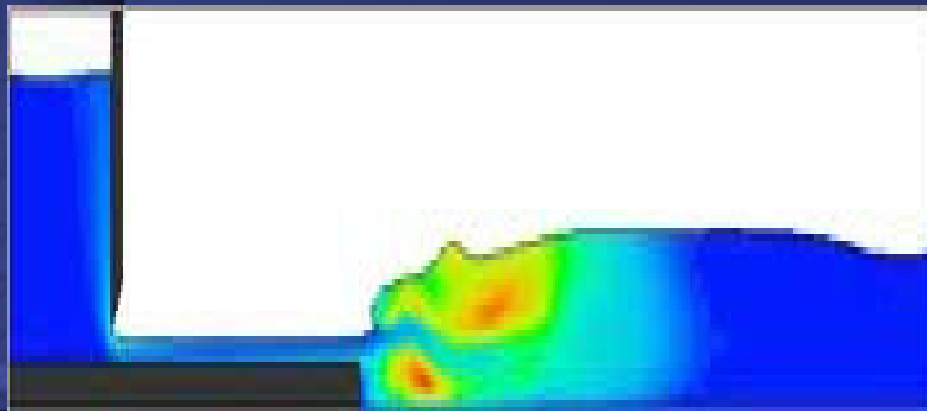
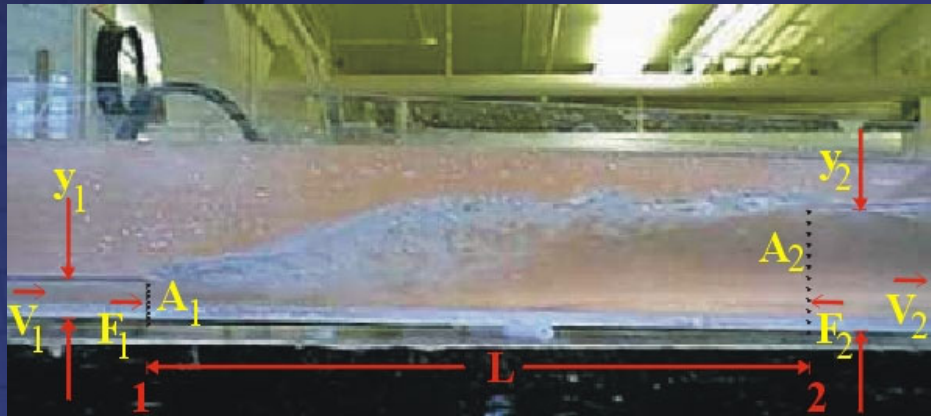
# Fenomena Alam – Loncat Air



- A spectacular hydraulic jump at the end of a spillway
- Itaipu dam and its Volume of maximum normal level is 30 Giga cubic meters, Maximum Width = 12 km, Surface (maximum operating level) 1460 km<sup>2</sup>, and Present power output = 12.6 Giga Watts.

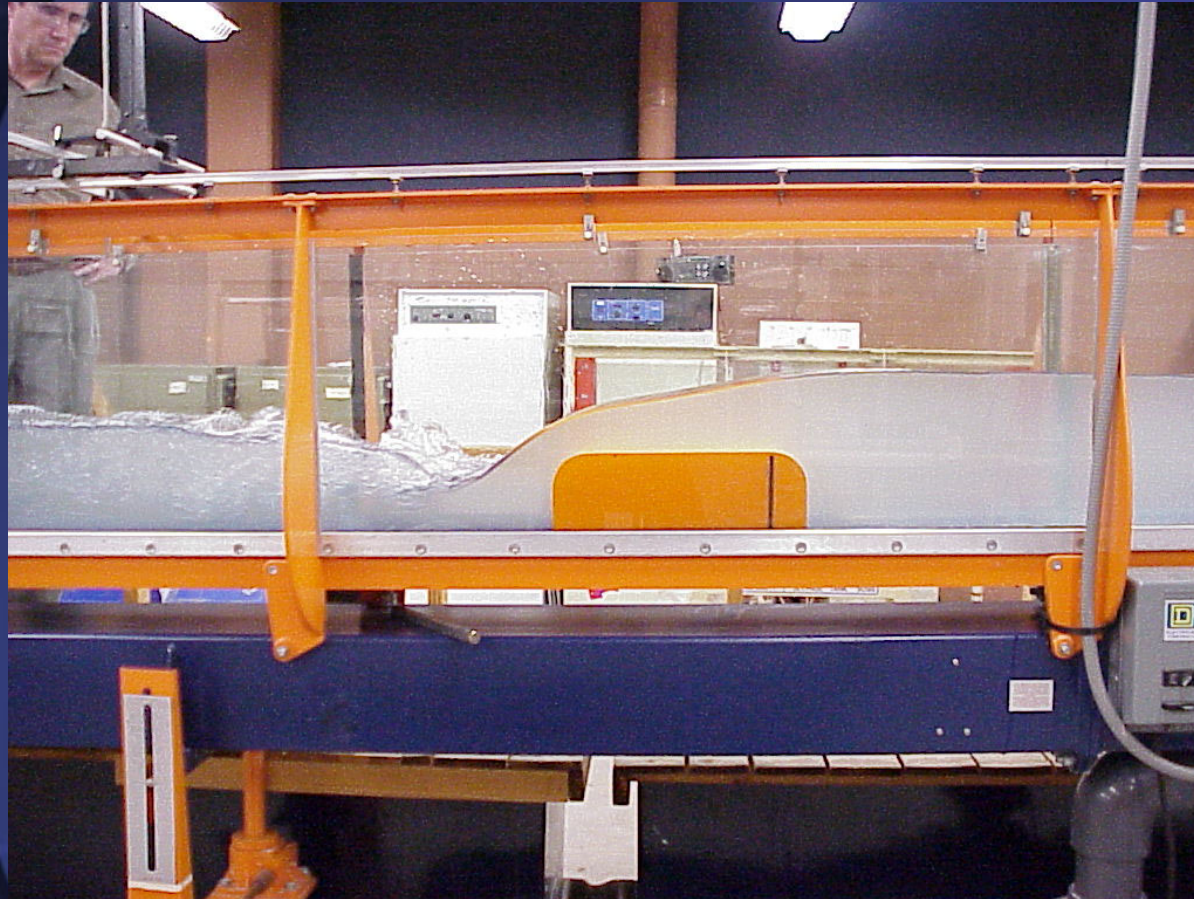
eFluids is published by iCentral, LLC.

# Model Fisik-Matematik



- Model fisik dibangun dengan memenuhi hukum-hukum kesebangunan.
- Model matematik dibangun dengan formula matematis yang terkait dengan fenomena alam dan melakukan penyelesaian terhadap formula tersebut.

# Model Fisik Loncat Air



Loncat air ditirukan di sebuah saluran

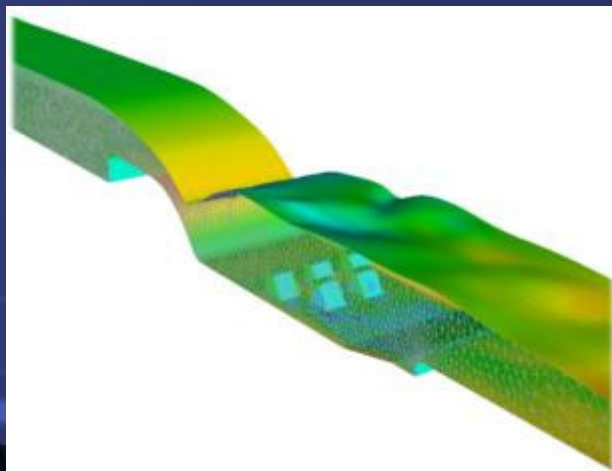
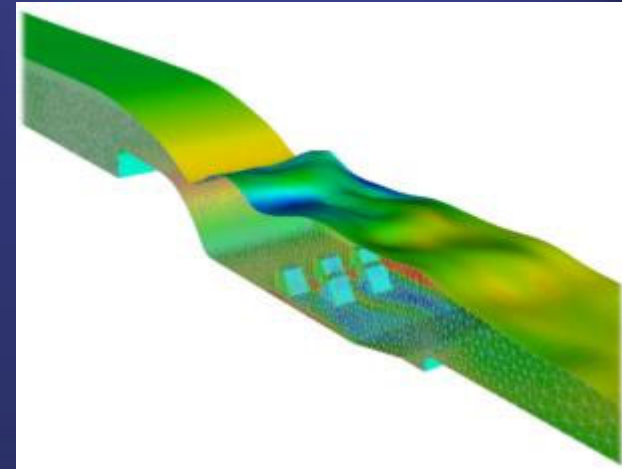
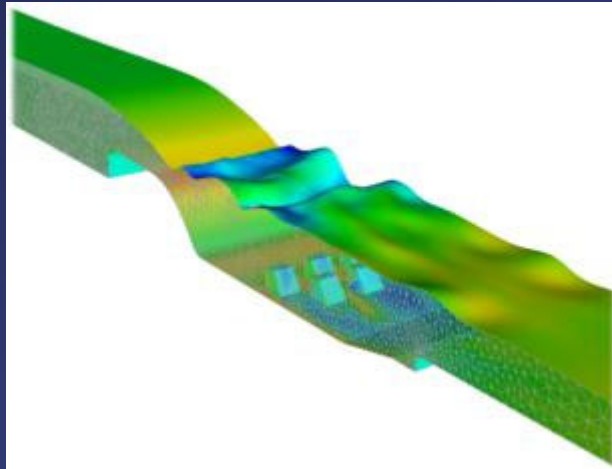
# Model Fisik Pelimpah



- [http://www.nhcweb.com/services/services\\_hyrotech\\_mod\\_physical.html](http://www.nhcweb.com/services/services_hyrotech_mod_physical.html)



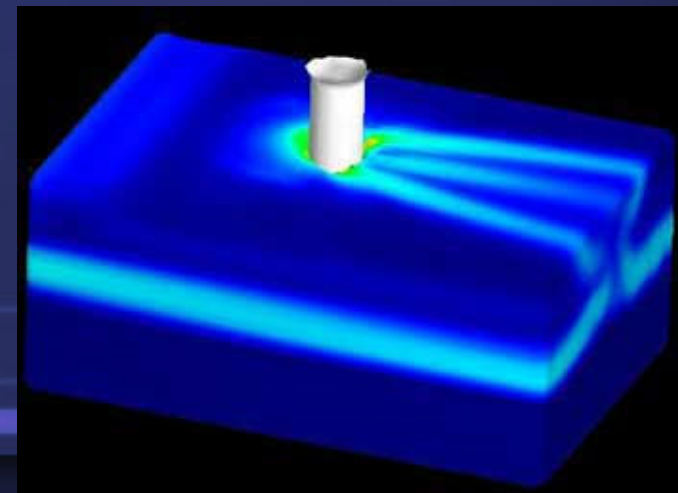
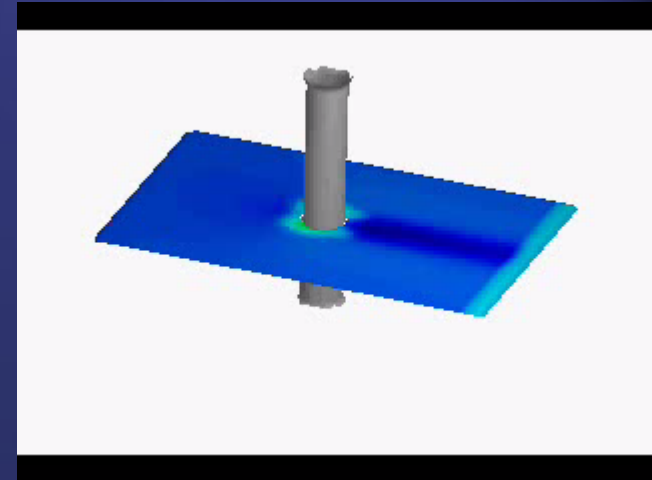
# Model Numerik Pemecah Energi



- Flow in a spillway: Free surface position and streamwise velocity field at three instants.
- <http://www.ruf.rice.edu/~beh/r/waterways.html>

# Model Numerik Gerusan di Jembatan

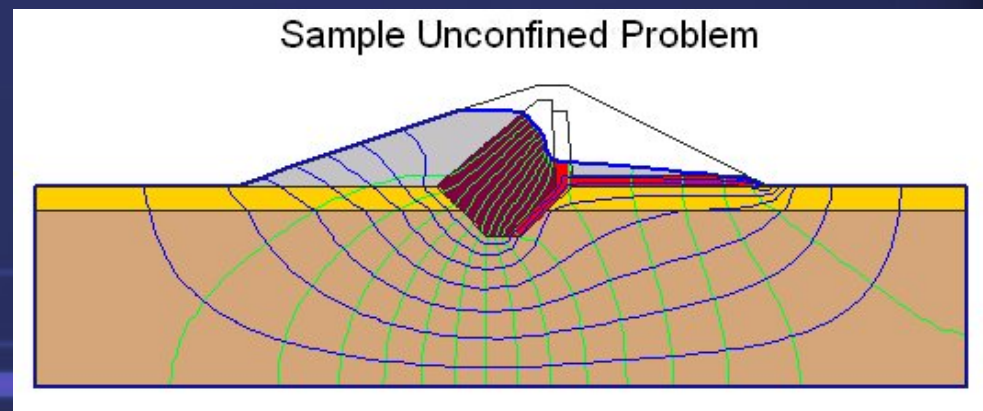
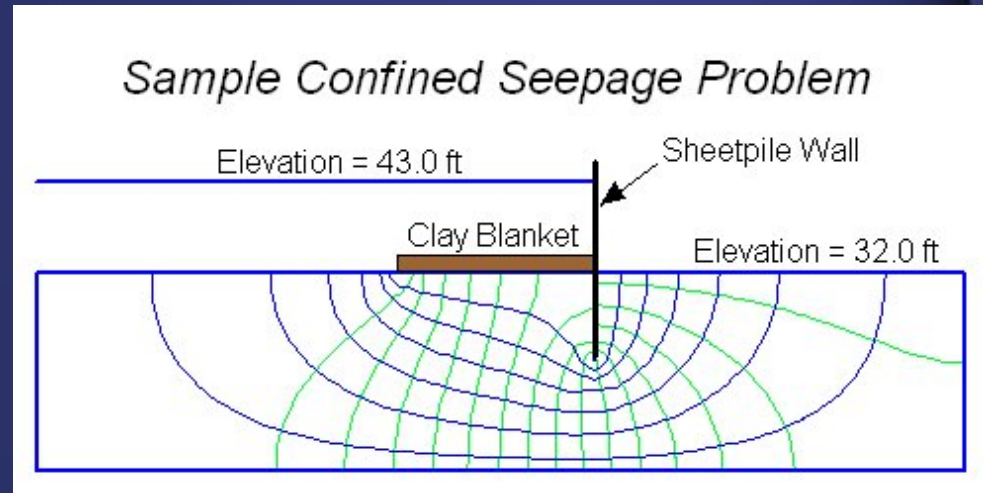
- Gerusan di fondasi jembatan dimodelkan menggunakan model matematika numerik



# Model Numerik Laplace

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0$$

- Rembesan di bawah sheetpile
- Rembesan di bendungan



# Pemodelan Alam - Analogi

- Pada model analogi replika/tiruan tersebut dilaksanakan dengan menganalogikan fenomena/peristiwa alam dengan fenomena/peristiwa alam yang lain untuk kemudian dibuat model fisiknya.
- Contoh: peristiwa aliran air tanah di bawah bendung ditirukan dengan model yang menggunakan arus listrik.

# Model Analogi

- Model analogi sekarang sudah jarang digunakan karena kecanggihan komputer saat ini, maka model analogi biasanya dapat digantikan dengan model matematika numeris.

# Pemodelan Alam - Matematik

- Pada model matematik replika/tiruan tersebut dilaksanakan dengan mendiskripsikan fenomena/peristiwa alam dengan satu set persamaan.
- Kecocokan model terhadap fenomena/peristiwa alamnya tergantung dari ketepatan formulasi persamaan matematis dalam mendiskripsikan fenomena/peristiwa alam yang ditirukan.

# Model Matematika - 1

- Model kecepatan aliran di saluran terbuka:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

dengan  $V$  adalah kecepatan,  $n$  adalah koefisien kekasaran Manning,  $R$  adalah radius hidraulik, dan  $S$  adalah kemiringan garis energi.

# Model Matematika - 2

- Model angkutan limbah di sungai:

$$A \frac{\partial C}{\partial t} + AU \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( AD \frac{\partial C}{\partial x} \right)$$

dengan  $A$  adalah luas tampang basah sungai,  $C$  adalah konsentrasi limbah,  $t$  menunjukkan waktu,  $U$  adalah kecepatan rerata tampang lintang sungai,  $x$  adalah jarak, dan  $D$  adalah koefisien dispersi.



## Model Matematika - 3

- Model penelusuran waduk ('reservoir routing'):

$$\frac{dV}{dt} = I(t) - O(h)$$

dengan  $V$  adalah volume tampungan waduk,  $I$  adalah debit yang masuk,  $O$  adalah debit yang keluar, sedangkan  $t$  menunjukkan waktu dan  $h$  menunjukkan elevasi muka air.

# Model Matematika – 4a

- Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_l$$

dengan  $Q$  adalah debit aliran ( $\text{m}^3/\text{detik}$ ),  $x$  adalah jarak memanjang sungai,  $A$  adalah luas tampang basah ( $\text{m}^2$ ),  $t$  menunjukkan waktu dalam detik, dan  $q_l$  adalah debit lateral dari samping kiri dan kanan sungai ( $\text{m}^3/\text{detik}/\text{m}$ ).

# Model Matematika – 4b

- Persamaan momentum:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \left( \frac{\partial y}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

dengan  $\alpha$  adalah koefisien koreksi kecepatan rerata tampang basah (= koefisien Coriolis),  $g$  adalah percepatan gravitasi (m/detik<sup>2</sup>),  $S_f$  adalah kemiringan garis energi,  $y$  adalah elevasi muka air (m).

# Penyelesaian Model Matematis

- Penyelesaian analitis dari suatu model matematis adalah penyelesaian yang didapat dari manipulasi aljabar terhadap persamaan dasar sehingga didapat suatu penyelesaian yang berlaku untuk setiap titik dalam domain yang menjadi perhatian.
- Sebagai contoh adalah angkutan limbah satu dimensi.

# Model Angkutan Limbah 1-D

- Model angkutan limbah di sungai:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

dengan  $C$  adalah konsentrasi limbah,  $t$  menunjukkan waktu,  $U$  adalah kecepatan rerata tampang lintang sungai,  $x$  adalah jarak, dan  $D$  adalah koefisien dispersi.

# Penyelesaian Analitis - 1

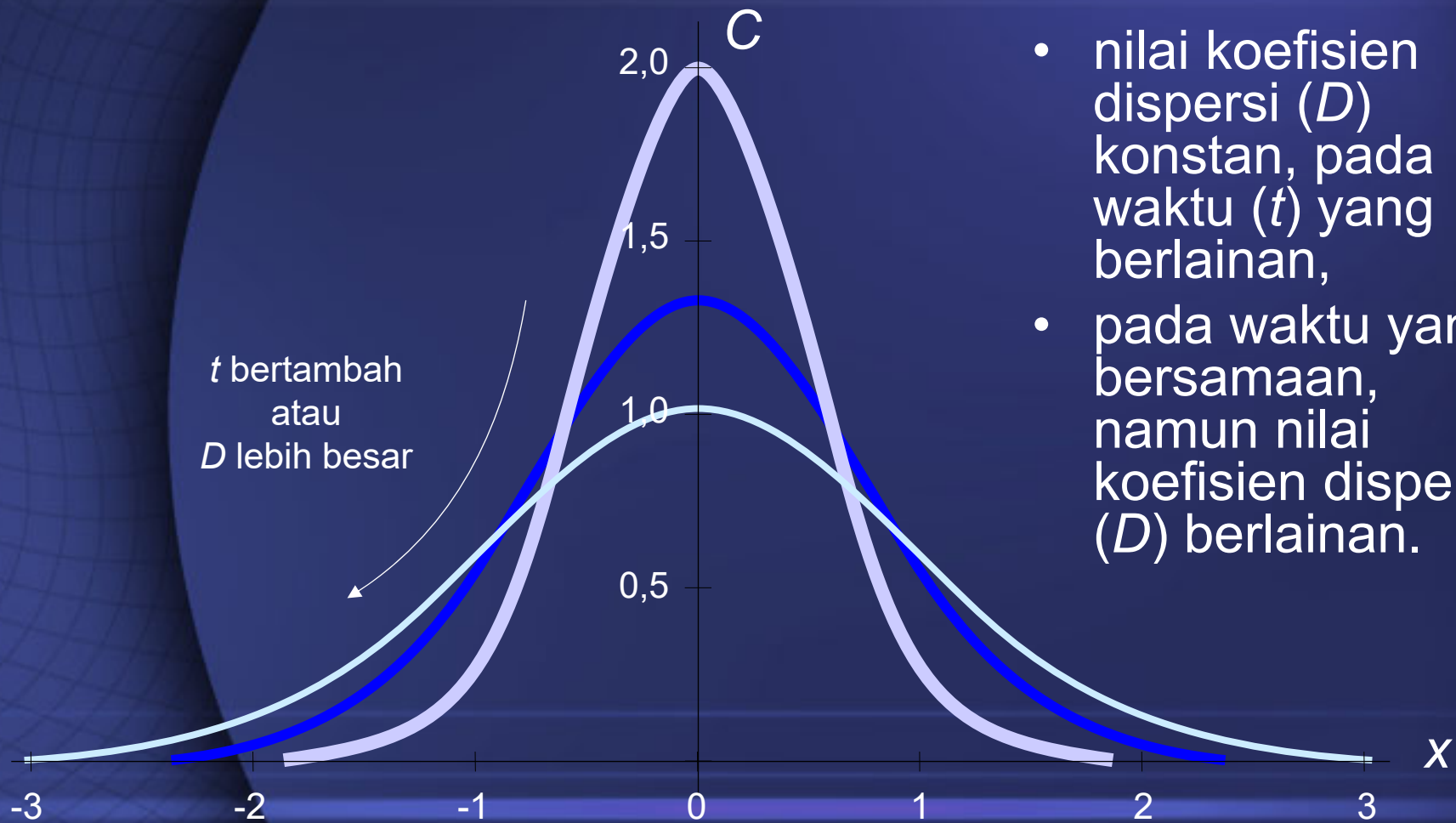
- Pada domain yang tak ada batasnya, penyelesaian analitisnya:

$$C(x, t) = \frac{M}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left(-\frac{(x - Ut)^2}{4Dt}\right)$$

dengan  $M$  adalah massa limbah pada waktu  $t_0$  dan  $x=0$ ; yang merupakan persamaan distribusi normal.

- Penyelesaian ini berlaku untuk setiap nilai  $x$  dan  $t$  dalam domain.

# Penyelesaian Analitis - 2



- nilai koefisien dispersi ( $D$ ) konstan, pada waktu ( $t$ ) yang berlainan,
- pada waktu yang bersamaan, namun nilai koefisien dispersi ( $D$ ) berlainan.

# Penyelesaian Analitis - 3

- Penyelesaian analitis di atas hanya berlaku:
  - domain yang tak ada batasnya,
  - nilai kecepatan aliran ( $U$ ) maupun koefisien dispersi ( $D$ ) konstan di seluruh domain.
- Kondisi di atas biasanya jarang sekali dijumpai di lapangan, oleh karena itu digunakan penyelesaian pendekatan dengan metoda numerik.



# Penyelesaian Numeris

- Penyelesaian numeris bersifat diskrit, bukan kontinu seperti penyelesaian analitis.
- Beberapa metoda numerik yang umum digunakan:
  - metoda beda hingga,
  - metoda elemen hingga,
  - metoda elemen batas,
  - metoda volume hingga,
  - dlsb.