

BAB 2

Karakteristik Sistem Makroskopik

Dalam termodinamika dibahas perilaku dan dinamika temperatur sistem makroskopik. Sistem diparameterisasi oleh volume, tekanan, temperatur dan kapasitas panas jenis bahan.

Dalam fisika statistik hubungan-hubungan di dalam termodinamika tersebut ditinjau ulang melalui pendekatan terhadap partikel-partikel penyusun dengan berbagai sifatnya.

Karena itu, upaya awal yang harus dilakukan adalah mengidentifikasi karakteristik sistem makroskopik.

Sistem Makroskopik ?

Sistem yang terdiri dari "**banyak**" partikel (elektron, atom, molekul, foton atau penyusun yang lainnya)

Contoh:

familiar



Gas, cairan, padatan, dll

Kurang familiar



sistem inti, sistem otak, sistem galaksi, dll

1. Bagaimana kebergantungan tekanan gas pada temperatur dan volume bejana?
2. Bagaimana prinsip kerja lemari pendingin? Berapa efisiensi maksimumnya?
3. Berapa energi maksimum yang dapat kita peroleh dari pembakaran batu bara?
4. Berapa banyak energi yang diperlukan untuk mengubah air dalam termos menjadi uap?
5. Mengapa sifat dari air berbeda dengan sifat dari uap air? Padahal air dan uap air terdiri dari tipe molekul yang sama?
6. Bagaimana susunan molekul dalam cairan?
7. Bagaimana dan mengapa air dapat membeku menjadi kristal berstruktur tertentu?
8. Mengapa besi hilang kemagnetannya ketika di atas temperatur tertentu?
9. Mengapa helium berkondensasi menuju fasa superfluida pada temperatur yang cukup rendah? Mengapa material tertentu menunjukkan hambatan nol terhadap arus listrik ketika pada temperatur yang cukup rendah?
10. Berapa cepat aliran arus berubah dari aliran laminar menjadi aliran turbulen?
11. Akan seperti apa cuaca besok?

1. Bagaimana kebergantungan tekanan gas pada temperatur dan volume bejana?
2. Bagaimana prinsip kerja lemari pendingin? Berapa efisiensi maksimumnya?
3. Berapa energi maksimum yang dapat kita peroleh dari pembakaran batu bara?
4. Berapa banyak energi yang diperlukan untuk mengubah air dalam termos menjadi uap?

Pertanyaan 1 - 4 berkaitan dengan variabel-variabel makroskopik seperti tekanan, volume dan temperatur

TERMODINAMIKA

Termodinamika menitikberatkan hanya pada kuantitas makroskopik dan mengabaikan variabel mikroskopik yang mengkarakterisasi individu molekul

5. Mengapa sifat dari air berbeda dengan sifat dari uap air? Padahal air dan uap air terdiri dari tipe molekul yang sama?
6. Bagaimana susunan molekul dalam cairan?
7. Bagaimana dan mengapa air dapat membeku menjadi kristal berstruktur tertentu?
8. Mengapa besi hilang kemagnetannya ketika di atas temperatur tertentu?
9. Mengapa helium berkondensasi menuju fasa superfluida pada temperatur yang cukup rendah? Mengapa material tertentu menunjukkan hambatan nol terhadap arus listrik ketika pada temperatur yang cukup rendah?

Pertanyaan 5 - 9 didasarkan pada pemahaman dari sifat sistem makroskopik yang dimulai dari pengetahuan atomik

FISIKA (MEKANIKA) STATISTIK

Tujuan dari mekanika statistik adalah memulai dengan hukum fisika yang mengatur sifat penyusun sistem pada tingkat mikroskopik dan kemudian memperoleh informasi tentang sifat dari sistem secara keseluruhan

Oleh Erdi Suhendi

- Termodinamika dan mekanika statistik mengasumsikan bahwa sifat makroskopik dari sistem **tidak berubah terhadap waktu**
- Termodinamika menjelaskan perubahan sebuah sistem makroskopik dari keadaan kesetimbangan yang satu ke keadaan kesetimbangan yang lain

10. Berapa cepat aliran arus berubah dari aliran laminar menjadi aliran turbulen?

11. Akan seperti apa cuaca besok?

Pertanyaan 10 dan 11 berkaitan dengan fenomena makroskopik yang berubah terhadap waktu



**TERMODINAMIKA NON
KESETIMBANGAN
DAN
MEKANIKA FLUIDA
(Makroskopik)**



**MEKANIKA STATISTIK
NON KESETIMBANGAN
(Mikroskopik)**

Contoh Pengamatan Kualitatif pada sistem makroskopik

Segelas air panas
dalam ruangan
dingin



Temperatur air panas
sama dengan
temperatur ruangan

Dua sifat penting dari proses di atas :

Temperatur

dan

Arah Waktu

Arah Waktu !!!

1. Pernahkah anda mengamati segelas air dalam temperatur ruang mendadak menjadi lebih panas!
2. Atau bola basket yang diam tiba-tiba bergerak memantul-mantul dan pantulannya makin tinggi!

Ada arah waktu pada tingkat makroskopik = Takterbalikkan

3. Bagaimana tentang arah waktu untuk gerak dari sebuah partikel!

Hk. II Newton invariant terhadap pembalikan waktu ($t=-t$)



Tidak ada arah waktu pada tingkat mikroskopik = Terbalikkan

Proses dan Pendekatan Kesetimbangan

Contoh Sistem Makroskopik : Gas yang terdiri dari molekul-molekul identik (contoh Argon/Nitrogen)

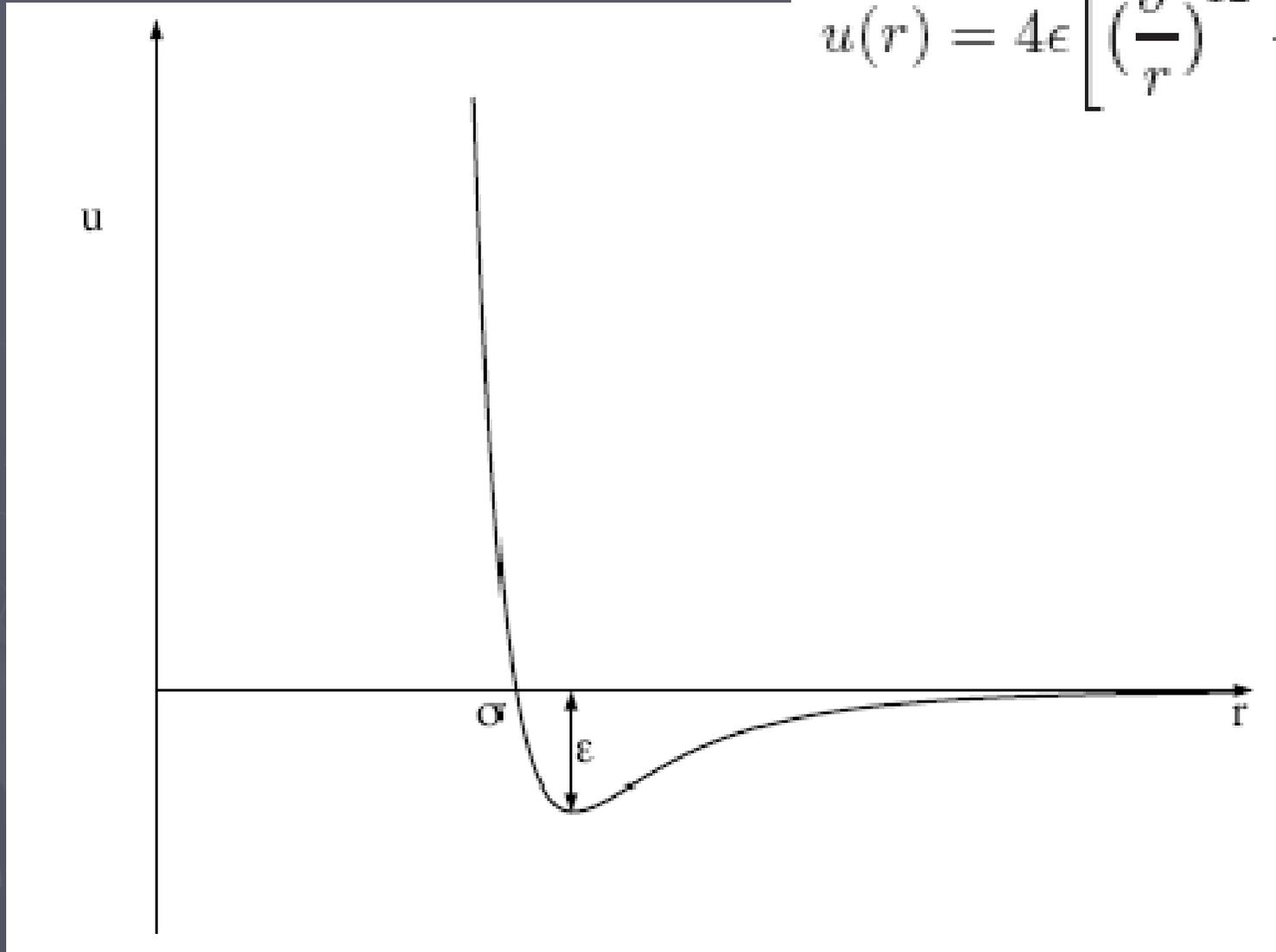
Asumsi :

- ✓ **Dilute**, yaitu jumlah molekul per satuan volume kecil, akibatnya
 - Jarak antar molekul besar
 - Interaksi antar molekul kecil
 - Jarak antar molekul \gg panjang gelombang de Broglie tiap molekul (Efek kuantum diabaikan)
 - Hk. Newton tentang gerak berlaku
- ✓ Interaksi antar molekulnya diberikan oleh **potensial Lennard-Jones:**

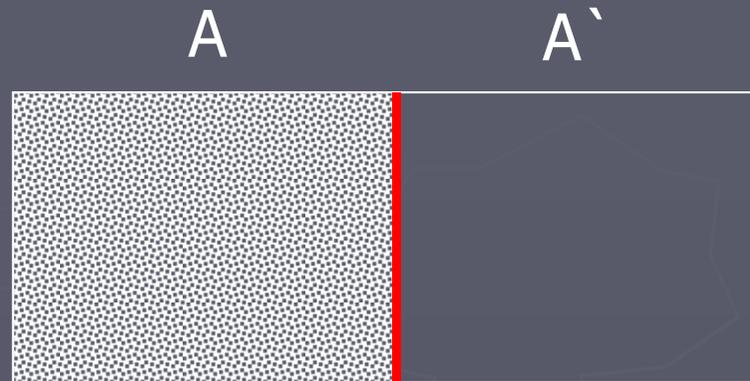
$$u(r) = 4\epsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right]$$

Plot Potensial Lennard-Jones:

$$u(r) = 4\epsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right]$$



Gas tersebut terdiri dari N molekul berada dalam wadah yang terisolasi dan dibagi dalam dua bagian yang sama (A dan A').



Bila pada keadaan awal semua molekul berada di A, kemudian sekat antara A dan A' dihilangkan, maka apa yang terjadi setelah waktu yang **sangat lama!**



$$n + n' = N$$

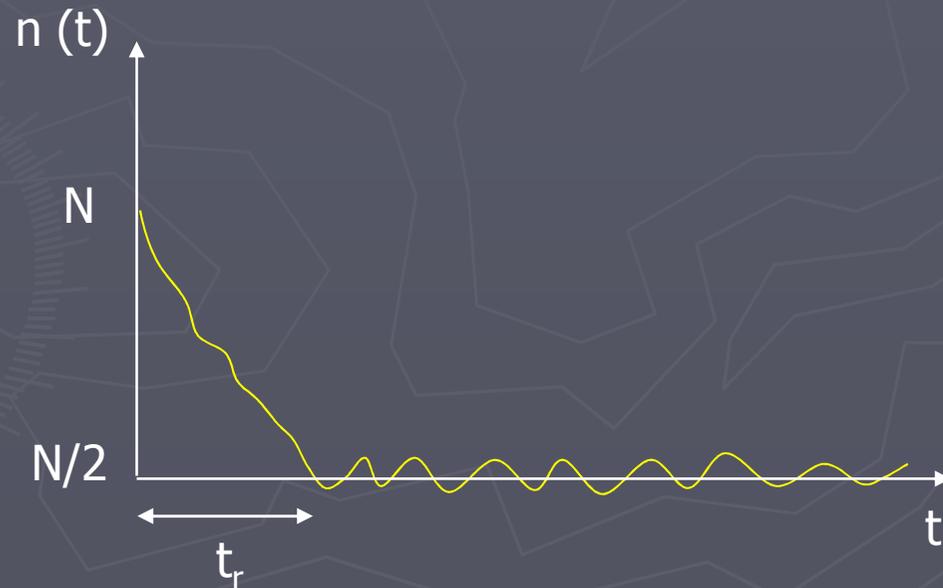
$$n \approx n' = N/2$$

Fluktuatif, Kesetimbangan!!!

Bagaimana kita dapat menyatakan keadaan kesetimbangan!

Dua pendekatan yang digunakan:

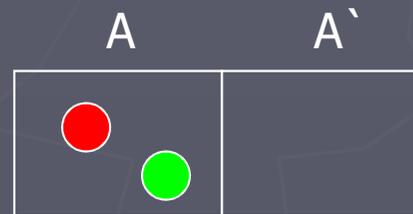
1. Meninjau sifat sistem (kuantitatif) sebagai **fungsi waktu**



2. Menghitung berapa **banyak cara** (**konfigurasi**) dari molekul-molekul penyusun terdistribusi diantara dua bagian wadah tersebut

Untuk memudahkan ambil $N=2$

Cara/konfigurasi 1



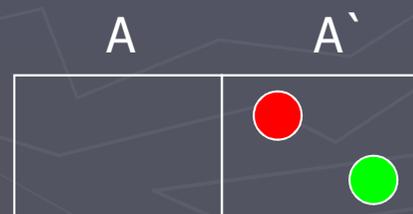
Cara/konfigurasi 2



Cara/konfigurasi 3



Cara/konfigurasi 4



Terdapat
4 konfigurasi
yang
mungkin

Bagaimana jika $N=3$, berapa konfigurasi yang mungkin!

Bagaimana jika $N=4$, berapa konfigurasi yang mungkin!

Bagaimana jika $N=N$, berapa konfigurasi yang mungkin!

Jawab: berturut-turut adalah 2^3 , 2^4 , dan 2^N

Perhatikan pada $N=2$, hanya terdapat satu cara/konfigurasi dimana semua molekul berada di wadah A, jika P_2 adalah probabilitas munculnya konfigurasi 1 (menemukan dua partikel di wadah A), maka

$$P_2 = \frac{1}{2^2}$$

Berapa probabilitas munculnya konfigurasi 4 (tidak menemukan partikel di wadah A)!

$$P_0 = \frac{1}{2^2}$$

Berapa probabilitas munculnya konfigurasi 2 (menemukan satu partikel di wadah A)!

$$P_1 = \frac{1}{2^2}$$

Berapa probabilitas munculnya konfigurasi 3 (menemukan satu partikel di wadah A)!

$$P_1 = \frac{1}{2^2}$$

Karena molekulnya **identik**, maka probabilitas munculnya konfigurasi 2 atau 3 adalah (menemukan satu partikel di wadah A)!

$$P_1 = \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^2} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

Jadi, untuk $N=2$ keadaan kesetimbangan adalah



(Probabilitasnya Maksimum = $1/2$)

Tinjau kembali kasus $N=3$

Berapa probabilitas menemukan dua partikel di wadah A!

$$P_2 = \frac{3}{2^3} = \frac{3}{8}$$

↓
Probabilitas menemukan satu partikel di wadah A'

Secara umum, probabilitas menemukan n partikel di wadah A

$$P_n = \frac{C_n^N}{2^N}$$

$$C_n^N = \frac{N!}{(N-n)!(n)!}$$

Bagaimana keadaan kesetimbangan pada kasus $N=3$, berapa nilai probabilitasnya!

Jika $N=4!$, $N=10$, $N=1000$, $N=10^{23}!!!$

Karakteristik sistem makroskopik

1. Tersusun dari banyak partikel atau molekul yang saling berinteraksi \leadsto pendekatan statistik
2. Fluktuasi \leadsto berfluktuasi di sekitar $N/2$
3. Takterbalikkan \leadsto mengalami proses menuju keadaan setimbang yang takterbalikkan
4. Kesetimbangan \leadsto tercapai bila sistem tidak mengalami perubahan terhadap waktu lagi

Tugas 1

Dikumpulkan minggu depan

1. Tinjau N partikel klasik (terbedakan) yang identik memenuhi suatu wadah. Bagaimana pernyataan umum probabilitas menemukan n partikel pada salah satu bagian wadah apabila wadah dibagi dalam tiga bagian yang sama besar!
2. Kasus yang sama dengan no. 1, bagaimana bila wadah dibagi dalam empat bagian yang sama besar!
3. Kasus yang sama dengan no. 1, bagaimana bila wadah dibagi menjadi x bagian yang sama besar!