

## Loncatan manik-manik - Sebuah model transisi fase dan ketidak-stabilan (10 poin)

Sebelum mengerjakan soal ini, kalian baca lebih dahulu Petunjuk Umum pada amplop yang terpisah.

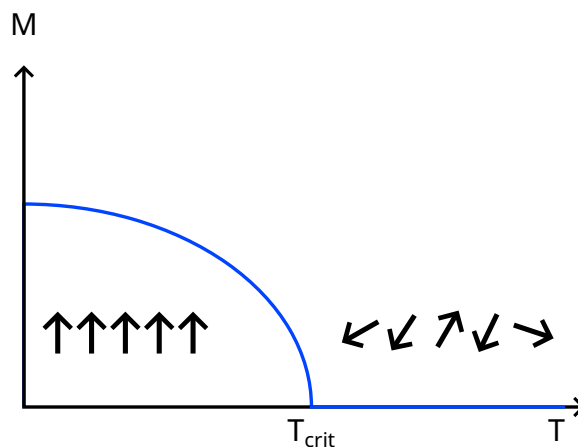
### Pendahuluan

Transisi fase banyak ditemui dalam kehidupan sehari-hari, misalnya air yang memiliki keadaan berbeda-beda, yaitu fase padat, cair dan gas. Ketiga keadaan ini terpisahkan melalui transisi fase, yaitu ketika terjadi perubahan perilaku kolektif dari molekul-molekul material. Setiap transisi fase selalu berhubungan dengan temperatur kritis, di mana keadaan dari material berubah, misalnya temperatur beku dan titik didih air.

Namun demikian, transisi fase muncul juga pada kasus dan sistem yang lain, seperti magnet dan superkonduktor. Untuk kasus magnet ketika di bawah temperatur kritis, keadaan makroskopis magnet berubah dari paramagnetik menjadi ferromagnetik dan untuk superkonduktor, ketika di bawah temperatur kritis, konduktor berubah menjadi superkonduktor.

Dengan memperkenalkan suatu parameter yang disebut sebagai parameter keteraturan, semua transisi tersebut dapat dijelaskan oleh suatu kerangka teori yang sama. Sebagai contoh, pada kasus kemagnetan, parameter keteraturan berasosiasi dengan arah orientasi momen magnetik dari atom-atom yang memiliki magnetisasi makroskopik.

Pada kondisi yang disebut transisi fase kontinu, parameter keteraturan akan selalu bernilai nol ketika temperaturnya di atas temperatur kritis, dan ketika di bawah temperatur kritis nilainya akan selalu meningkat secara kontinu seperti ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah ini untuk kasus magnet. Gambar tersebut juga menggambarkan secara skematik tingkat keteraturan dan ketidak-aturan mikroskopik untuk kasus magnet. Ketika momen magnet saling sejajar yaitu pada keadaan ferromagnetik, nilai magnetisasi secara makroskopik akan meningkat; sedangkan ketika momen magnetik berorientasi acak yaitu pada keadaan paramagnetik, magnetisasi makroskopik bernilai nol.



Gambar 1: Skema gambaran dari ketergantungan parameter keteraturan  $M$  kepada temperatur pada transisi fase. Di bawah temperatur kritis  $T_{crit}$ , nilai parameter keteraturan meningkat dan bernilai tidak nol, sedangkan pada temperatur di atas  $T_{crit}$ , parameter keteraturan bernilai nol.

Pada transisi fase kontinu, secara umum fungsi parameter keteraturan di sekitar kondisi transisi

mengikuti aturan pangkat (*power law*). Misalnya pada kemagnetan, fungsi magnetisasi  $M$  di bawah temperatur kritis  $T_{\text{crit}}$  dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$M \begin{cases} \sim (T_{\text{crit}} - T)^b, & T < T_{\text{crit}} \\ = 0, & T > T_{\text{crit}} \end{cases} \quad (1)$$

dengan  $T$  adalah temperatur. Hal yang mengejutkan adalah perilaku ini bersifat universal: aturan pangkat dengan bentuk seperti ini berlaku untuk banyak kasus transisi fase yang berbeda-beda.

## Tugas

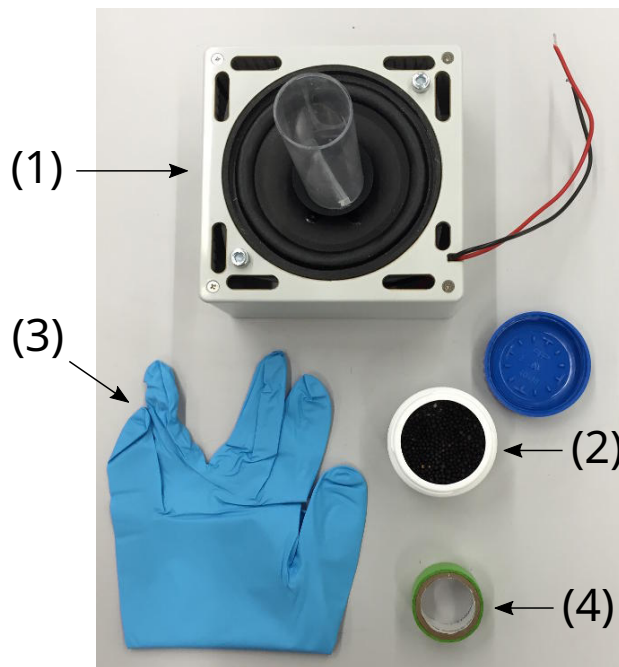
Kita akan mempelajari sebuah contoh sederhana yang mana beberapa aspek dari transisi fase dapat diteliti. Misalnya bagaimana ketidakstabilan mempengaruhi sifat kolektif dari partikel-partikel, sehingga mempengaruhi transisi fase. Misalnya juga bagaimana perubahan makroskopik bergantung kepada eksitasi dari partikel-partikel.

Pada kebanyakan kasus transisi fase, eksitasi partikel-partikel biasanya dipengaruhi oleh temperatur. Pada eksperimen ini kita akan mempelajari eksitasi berupa energi kinetik dari partikel yang dipercepat oleh gerakan loudspeaker. Perubahan makroskopik yang berkaitan dengan transisi fase yang kita pelajari disini adalah dengan mengamati manik-manik yang bergerak ke salah satu bagian di dalam silinder yang terpisahkan oleh suatu dinding kecil.

Dari keadaan ketika semua partikel berada pada satu bagian silinder, jika amplitudo dinaikkan, maka kamu akan mendapatkan bahwa sekarang partikel akan terdistribusi merata pada kedua bagian silinder tersebut. Kondisi ini berasosiasi dengan pemanasan yang melebihi temperatur kritis.

Tugas kalian adalah menentukan nilai pangkat kritis untuk model transisi fase seperti di atas.

## Daftar bahan-bahan



Gambar 2: Peralatan tambahan untuk eksperimen ini.

1. Loudspeaker yang telah terpasang silinder plastik pada bagian atasnya.
2. Sekitar 100 buah manik-manik (ada di dalam wadah plastik)
3. Sebuah sarung tangan
4. Selotip

## Peringatan Penting

- Jangan memberikan gaya mendatar yang terlalu besar ke silinder plastik yang menempel pada loudspeaker. Perhatikan bahwa tidak ada penggantian alat jika membran loudspeaker atau silinder plastik terobek.
- Matikan peralatan loudspeaker jika sedang tidak digunakan agar baterai tidak terkuras percuma.
- Pada eksperimen ini, sebuah sinyal gergaji berfrekuensi 4 Hz merupakan output dari terminal loudspeaker yang terdapat pada bagian samping pembangkit sinyal.
- Amplitudo dari sinyal gergaji dapat diatur dengan menggunakan potensiometer sebelah kanan dengan label amplitudo speaker (4). Tegangan DC yang sebanding dengan amplitudo sinyal merupakan keluaran dari soket monitor amplitudo speaker (6) (terhadap soket GND (7)). Bilangan ini merujuk kepada Gambar 2 pada lembar Petunjuk Umum.
- Membran dari speaker sangatlah halus. Pastikan kamu tidak memberikan tekanan yang tidak perlu, baik secara mendatar maupun vertikal.

## Bagian A. Amplitudo Eksitasi Kritis (3.3 poin)

Sebelum Anda memulai mengerjakan tugas pada soal ini, hubungkan loudspeaker ke terminal di samping pembangkit sinyal (pastikan Anda menghubungkan polaritasnya dengan benar). Tempatkan beberapa manik-manik (misalnya 50 buah) ke dalam silinder plastik yang ditempel pada loudspeaker dan gunakan potongan dari sarung tangan untuk menutup bagian atas silinder agar manik-manik tidak keluar dari silinder. Nyalakan sinyal eksitasi dengan menggunakan saklar dan atur nilai amplitudo dengan memutar potensiometer sebelah kanan yang diberi label amplitudo speaker (4) dengan menggunakan obeng. Amati pergerakan manik-manik dengan mencoba beberapa nilai amplitudo.

Tugas pertama adalah menentukan amplitudo eksitasi kritis dari transisi tersebut. Untuk melakukan hal tersebut, kalian harus menentukan jumlah manik-manik  $N_1$  dan  $N_2$  di kedua ruang pada silinder (pilih label dari ruang dalam silinder sedemikian sehingga  $N_1 \leq N_2$ ) sebagai fungsi dari  $A_D$ , yaitu tegangan yang terukur pada soket amplitudo speaker (6). Tegangan ini berbanding lurus dengan amplitudo gelombang gergaji yang mendorong loudspeaker. Lakukan setidaknya 5 pengukuran untuk setiap nilai tegangan.

Petunjuk:

- Agar partikel yang kalian amati selalu dalam keadaan bergerak, gunakan amplitudo pada amplitudo speaker hanya yang lebih besar dari 0.7 V. Mulailah mengamati perilaku manik-manik hanya dengan memvariasikan nilai tegangan secara perlahan. Dimungkinkan ada manik-manik yang tetap menempel pada dasar silinder. Hal ini disebabkan oleh interaksi elektrostatik. Manik-manik yang nempel tersebut jangan kamu hitung.

<b>A.1</b>	Catat hasil pengukuran jumlah partikel $N_1$ dan $N_2$ untuk beberapa nilai $A_D$ pada <b>Tabel A.1</b> .	1.2pt
<b>A.2</b>	Hitung nilai standar deviasi dari pengukuran $N_1$ dan $N_2$ dan tempatkan pada <b>Tabel A.1</b> . Plot $N_1$ dan $N_2$ serta nilai ketidakpastiannya sebagai fungsi dari $A_D$ pada <b>Grafik A.2</b> .	1.1pt
<b>A.3</b>	Berdasarkan grafik yang telah kalian buat, tentukan nilai kritis dari $A_D$ yang diberi label $A_{D,crit}$ yang mana terjadi ketika $N_1 = N_2$ setelah kondisi stasioner tercapai.	1pt

## Bagian B. Kalibrasi (3.2 poin)

Fungsi  $A_D$  adalah tegangan yang bekerja ke loudspeaker. Namun, besaran fisis yang diinginkan adalah pergeseran maksimum getaran loudspeaker  $A$  karena berhubungan dengan seberapa kuat eksitasi dari manik-manik. Oleh karena itu, kalian perlu melakukan kalibrasi fungsi  $A_D$ . Untuk keperluan kalibrasi ini, kalian dapat menggunakan semua bahan dan alat yang telah disediakan.

<b>B.1</b>	Gambarkan rangkaian alat yang kalian gunakan dalam eksperimen untuk mengukur amplitudo eksitasi, yaitu pergeseran maksimum getaran loudspeaker $A$ (dalam mm) dalam satu perioda getaran.	0.5pt
<b>B.2</b>	Tentukan nilai $A$ dalam mm untuk sejumlah nilai $A_D$ . Tuliskan data hasil pengukuran kalian pada <b>Tabel B.2</b> dan sertakan ketidakpastian pada pengukuran yang kalian lakukan.	0.8pt

<b>B.3</b>	Plot data yang kalian dapatkan pada <b>Grafik B.3</b> , dan sertakan pula ketidakpastiannya.	1.0pt
<b>B.4</b>	Tentukan parameter-parameter dari kurva yang kalian gambar dengan menggunakan fungsi yang cocok untuk mendeskripsikan fungsi kalibrasi $A(A_D)$ .	0.8pt
<b>B.5</b>	Tentukan nilai kritis dari amplitudo eksitasi $A_{\text{crit}}$ manik-manik.	0.1pt

### Part C. Nilai pangkat kritis (3.5 poin)

Pada sistem yang kita tinjau, temperatur berkaitan dengan input energi kinetik dari eksitasi. Energi ini sebanding dengan laju kuadrat dari loudspeaker,  $v^2 = A^2 f^2$ , di mana  $f$  adalah frekuensi dari getaran. Sekarang kita akan menguji ketergantungan tersebut dan menentukan nilai pangkat  $b$  (lihat persamaan 1).

<b>C.1</b>	Ketidakseimbangan $\left  \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ adalah kandidat yang baik sebagai parameter keteraturan untuk sistem yang kita tinjau, karena bernilai nol jika diatas amplitudo kritis dan bernilai 1 pada eksitasi rendah. Tentukan parameter keteraturan sebagai fungsi dari amplitudo eksitasi $A$ . Tuliskan hasil kalian pada <b>Table C.1</b> .	1.1pt
<b>C.2</b>	Plot fungsi ketidakseimbangan $\left  \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right $ sebagai fungsi dari $ A_{\text{crit}}^2 - A^2 $ pada Grafik C.2, dimana kedua sumbu memiliki skala logaritmik (double-logarithmic plot). Kalian dapat menggunakan Tabel C.1 untuk melakukan perhitungan. Titik-titik pada kurva mungkin terlihat seperti tidak mengikuti relasi linear, namun regresi linear tetap digunakan untuk menyesuaikan dengan aturan pangkat kritis.	1pt
<b>C.3</b>	Tentukan nilai pangkat $b$ dan perkirakan nilai kesalahannya.	1.4pt