

KONDENSASI BOSE-EINSTEIN

Wipsar Sunu Brams Dwandaru

Laboratorium Fisika Teori dan Komputasi, Jurusan Pendidikan Fisika, F MIPA UNY,
Karangmalang, Yogyakarta, 55281

Korespondensi Telp.: 082160580833, Email: wipsarian@yahoo.com

Abstrak

Dalam artikel ini telah dijelaskan tentang kondensasi Bose-Einstein. Pertama, akan dijelaskan tentang pengertian kondensasi Bose-Einstein. Selanjutnya, dibahas tentang perbedaan antara partikel boson dan fermion. Terakhir, keberadaan kondensasi Bose-Einstein dibahas menggunakan statistika Bose-Einstein.

Kata kunci: kondensasi Bose-Einstein, Fermion, Boson.

PENDAHULUAN

Kondensasi Bose-Einstein (KBE) adalah suatu wujud zat yang berupa gas encer (*dilute*) dari partikel-partikel boson yang saling berinteraksi dan terkungkung oleh suatu potensial eksternal dan didinginkan sampai suhu yang mendekati nol derajat mutlak (0 K atau 273,15⁰C) [1]. Dalam keadaan suhu ekstrim ini, sebagian besar partikel-partikel boson akan menempati keadaan kuantum yang paling rendah sesuai dengan potensial eksternalnya, sedemikian sehingga efek-efek kuantum teramati pada skala makroskopis.

Wujud zat ini pertama kali diprediksi oleh **Satyendra Nath Bose** dan **Albert Einstein** pada tahun 1924–1925. Bose pertama kali mengirimkan sebuah surat kepada Einstein tentang kuantum statistik dari kuantum cahaya (yang sekarang disebut foton). Einstein terkesan dengan artikel tersebut, dan mengubahnya dari bahasa Inggris ke bahasa

Jerman dan di-*submit* kembali untuk Bose kepada jurnal *Zeitschrift für Physik*, yang kemudian berhasil terpublikasi. Selanjutnya, Einstein mengembangkan ide Bose untuk partikel materi dalam dua artikel lainnya.

Setelah tujuh puluh tahun kemudian, kondensasi Bose-Einstein dihasilkan pertama kalinya oleh **Eric Cornell** dan **Carl Wieman** pada tahun 1995 dari Universitas Colorado di laboratorium Boulder NIST-JILA. Kedua fisikawan ini menggunakan atom-atom rubidium dalam fase gas yang didinginkan pada suhu sekitar 170 nanokelvin [2]. Untuk keberhasilan inilah kedua ilmuwan ini dan Wolfgang Ketterle dianugerahi hadiah Nobel untuk Fisika pada tahun 2001. Kondensasi Bose-Einstein untuk foton ditemukan untuk yang pertama kali pada bulan November 2010.

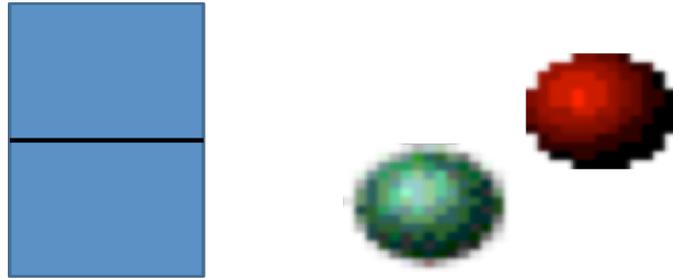
STATISTIKA BOSE–EINSTEIN

Kondensasi Bose-Einstein ini hanya dapat dijumpai untuk partikel-partikel boson, yakni partikel-partikel yang memenuhi statistika Bose-Einstein, tetapi tidak memenuhi prinsip eksklusi Pauli. Hal ini disebabkan oleh adanya efek mekanika kuantum. Ketika suhu suatu material mendekati suhu absolut nol derajat Kelvin, sebuah perubahan menarik terjadi pada materi boson tersebut. Atom-atom materi tersebut mulai berkondensasi dan mengumpul (*clumped*). Hal ini akan terjadi pada sekitar sepersepuluh derajat Kelvin. Atom-atom tersebut akan membentuk daerah-daerah (*kluster*) di tempat yang sama dalam ruang dan berperilaku sebagaimana sebuah atom yang berukuran besar. Secara matematis posisi tiap-tiap atom ini masih dapat dideskripsikan oleh persamaan gelombang Schrodinger masing-masing atom, yang mendeskripsikan posisi eksak tiap-tiap atom dalam ruang. Dengan menyelesaikan persamaan-persamaan ini, dapat dibuktikan bahwa tiap-tiap atom menjadi sebuah entitas yang tunggal atau sebuah titik dalam keadaan tertentu. Dengan kata lain, kondensasi Bose-Einstein merupakan suatu distribusi statistik dari partikel-partikel boson yang sama dan tak dapat dibedakan dengan tingkat-tingkat energi yang berbeda dalam keadaan keseimbangan termal.

Untuk memahami kondensasi Bose-Einstein, perlu dipahami terdahulu tentang boson dan fermion. Elektron, proton, neutron, dan quark adalah contoh-contoh partikel fermion. Partikel-partikel ini memiliki spin tengahan (kelipatan $1/2$). Partikel-partikel boson, di lain pihak, memiliki spin kelipatan bulat, yakni $0, 1, 2, \dots$. Sebuah keadaan terikat (*bound state*) yang terdiri dari dua buah partikel fermion berperilaku seperti sebuah boson. Hal ini disebabkan spin dari dua partikel fermion tersebut dapat saling menghapuskan jika saling berlawanan arah ($\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$), atau bertambah jika arahnya sama ($\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$). Kedua kasus ini akan menghasilkan sebuah partikel boson. Namun demikian, suatu keadaan terikat dari dua buah partikel boson tetaplah menjadi boson, karena bilangan bulat jika ditambah atau dikurangkan akan menghasilkan bilangan bulat.

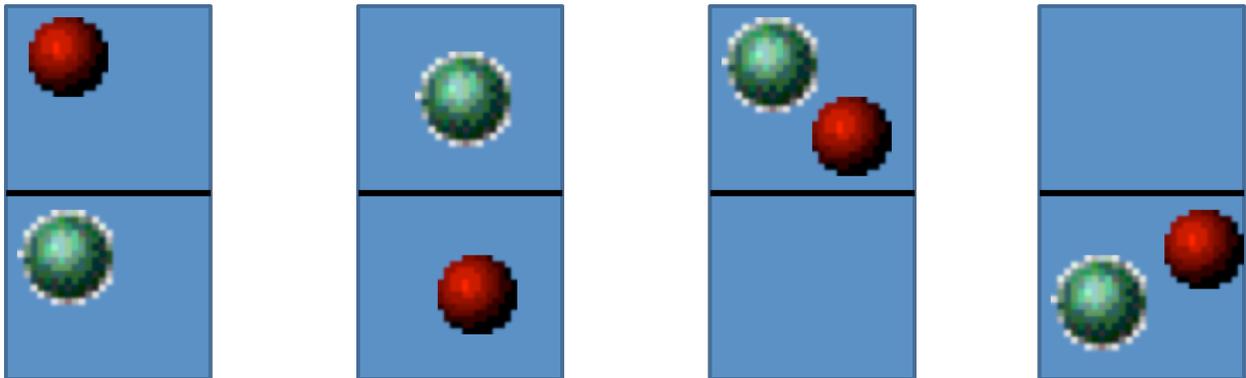
Menurut prinsip eksklusi Pauli, partikel-partikel fermion tidak boleh menempati ruang yang sama (dengan bilangan kuantum yang persis sama), sedangkan partikel boson dapat menempati ruang yang sama. Dengan demikian, dua buah elektron dengan arah spin yang sama tidak dapat ditempatkan berdekatan, sedangkan dua partikel boson dapat saling overlap. Posisi dari sebuah materi, menurut teori medan, selalu tetap dalam suatu bagian ruang. Namun demikian, dalam suatu keadaan tertentu dapat dihasilkan sebuah keadaan, dimana tidak mungkin untuk membedakan posisi sebuah partikel relatif terhadap partikel lainnya. Sebagai contohnya, semisalnya Anda dan seorang teman Anda berpesiar ke sebuah bukit. Sesampainya, di bukit tersebut ternyata Anda dan teman Anda adalah pendatang yang pertama. Anda kemudian menaiki bukit, sedangkan teman Anda tetap di kaki bukit. Walaupun, teman Anda tak terlihat dengan jelas (hanya kelihatan seperti titik), Anda yakin 'titik' itu adalah teman Anda (karena hanya ada satu orang yang berada di kaki bukit). Tetapi, jika kemudian pengunjung semakin banyak berada di kaki bukit, maka Anda tidak akan dapat lagi membedakan antara teman Anda dan pengunjung lainnya.

Kondensasi Bose-Einstein juga dapat diilustrasikan dengan perhitungan peluang sederhana. Semisal terdapat dua partikel yang akan ditempatkan dalam dua ruang (lihat **Gambar 1**).



Gambar 1: dua buah partikel (warna merah dan hijau) yang dimasukkan dalam sebuah ruang yang disekat (persegi panjang warna biru).

Dimisalkan kedua partikel tersebut merupakan dua partikel fermion. Ada berapa cara untuk memasukkan kedua partikel ke dalam dua tempat? Karena partikel yang sama tidak boleh menempati ruang yang sama, maka terdapat empat (4) cara untuk memasukkan kedua partikel dalam dua tempat di atas (lihat **Gambar 2**).

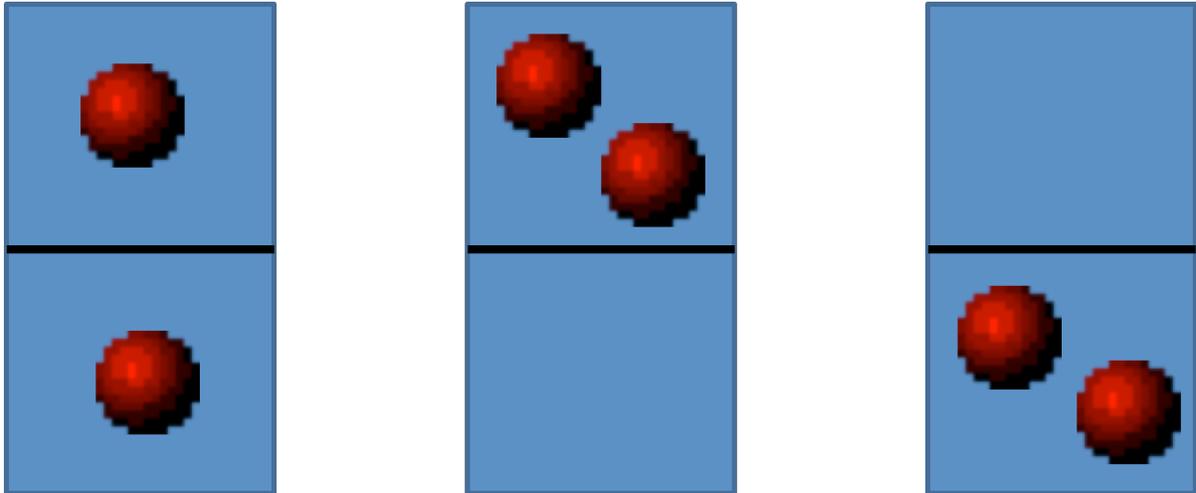


Gambar 2: Empat cara untuk menempatkan dua buah partikel fermion ke dalam dua ruang.

Menurut postulat fisika statistik, dalam keadaan setimbang, peluang terjadinya salah satu keadaan (dari keempat keadaan) tersebut adalah sama, yaitu $p = 1/4$, atau terdapat peluang sebesar 25% salah satu dari keempat keadaan di atas untuk muncul.

Selanjutnya, apa yang terjadi jika kedua partikel tersebut adalah boson? Ada berapa cara untuk menempatkan dua partikel boson ke dalam dua tempat? Semisal kedua

partikel boson tersebut berwarna merah, maka hanya terdapat tiga cara untuk menempatkan kedua partikel boson ke dalam dua tempat (lihat **Gambar 3**).



Gambar 3: Tiga keadaan untuk menempatkan dua partikel boson ke dalam dua tempat.

Sebagaimana peluang partikel fermion, peluang untuk munculnya setiap keadaan untuk partikel-partikel boson adalah $p = 1/3$. Hal ini berarti terdapat sekitar 33% untuk mendapatkan salah satu dari tiga keadaan yang mungkin dari penempatan partikel-partikel boson.

Lebih jauh lagi, dapat dibandingkan pula peluang untuk mendapatkan dua partikel fermion ataupun dua partikel boson dalam ruang yang sama. Untuk partikel fermion, ada dua cara (dari empat keadaan) untuk menempatkan dua partikel fermion dalam satu ruang. Dengan demikian, besar peluangnya adalah $1/2$. Sedangkan untuk partikel boson, terdapat dua cara dari tiga keadaan untuk menempatkan dua partikel boson pada ruang yang sama. Hal ini berarti terdapat peluang sebesar $2/3$. Ternyata, peluang untuk menempatkan dua partikel boson di satu tempat lebih besar daripada dua partikel fermion. Hal inilah yang menandakan partikel boson cenderung untuk mengumpul.

Inilah yang terjadi pada kondensasi Bose-Einstein. Saat sejumlah jutaan partikel berkondensasi, sebuah fase zat akan tercapai dimana identitas individual tiap-tiap partikel tersebut hilang. Jikalau telah diusahakan untuk melabeli tiap-tiap partikel, tetap tidak dapat dipilih sebuah partikel yang diinginkan dalam kondensasi tersebut. Pada akhir tahun 2001, terdapat sekitar 36 laboratorium di dunia yang dapat menghasilkan sebuah kondisi fisis untuk menghasilkan kondensasi Bose-Einstein. Teori ini telah menghasilkan kemajuan dalam bidang superkonduktor, superfluida atau perancangan chip computer yang berukuran kecil. Sehingga, kondensasi Bose- Einstein dapat dikatakan sebagai salah satu keberhasilan abad kedua puluh.

KESIMPULAN

Telah dijelaskan di atas tentang pengertian kondensasi Bose-Einstein. Selanjutnya, dibahas pula tentang keberadaan kondensasi Bose-Einstein berdasarkan statistika Bose-Einstein.

REFERENSI

- [1] F. Potter dan C. Jargodzki, *Mad About Modern Physics: Braintwisters, Paradoxes, Curiosities*, John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [2] Bose-Einstein Condensate, en.wikipedia.org/wiki/Bose-Einstein_condensate, diunduh Tanggal: Juni 2012.
- [3]