

## Tinjauan Mata Kuliah

Kemajuan dalam bidang teknologi pengajaran rupanya berjalan sangat cepat. Kalau kita menengok hal itu lewat internet misalnya, sudah ada program yang dinamakan “Visual Quantum Mechanics”, yang bahkan bisa diajarkan pada jenjang Sekolah Menengah, bukan hanya bagi mereka yang fasih ber”bahasa” kalkulus, tetapi juga bagi mereka yang kemahirannya dalam bidang kalkulus sangat minimal.

Bahan-bahan ajar Fisika Kuantum yang beredar dan banyak dipakai sebenarnya ditujukan bagi calon-calon fisikawan yang harus menggunakan mekanika kuantum sebagai alat analisis karya penelitian. Isinya tentu saja mengutamakan kemahiran melakukan proses hitungan matematika secara analitik, bukan makna dari objek yang digarapnya itu.

Akhir-akhir ini hal itu mulai disadari dan sudah banyak bermunculan buku-buku tentang fisika kuantum yang lebih menekankan pada pemahaman akan maknanya, serta perubahan paradigma bernalar yang berbeda dengan fisika klasik. Lebih-lebih dengan kemajuan di bidang teknologi pada skala nanometer, yang sementara ini alat bernalarnya hanya dapat dilakukan lewat pendekatan mekanika kuantum.

Modul Fisika Kuantum yang dimaksudkan untuk para guru SMA sengaja dibuat berbeda dengan modul Fisika Kuantum untuk mahasiswa FMIPA. Para calon guru fisika SMA memang memerlukan latar belakang pengetahuan fisika yang lebih luas daripada bahan yang harus diajarkannya di SMA. Tetapi keluasan latar belakang tersebut bukan dimaksudkan untuk belajar menjadi fisikawan, melainkan untuk membuat para guru ini memiliki keyakinan diri lebih kuat dalam mengajarkan fisika di SMA.

Para siswa SMA yang mendapat pelajaran fisika sebagian besar (kecuali beberapa saja) tidak akan bekerja dalam lingkungan yang memerlukan ilmu fisika yang harus dicerna secara teknis dalam kadar yang mendalam. Para tamatan SMA ada yang nantinya bekerja dalam bidang-bidang dengan ragam yang luas; ada yang jadi dokter, jadi insinyur, jadi salesman, jadi penyanyi,

jadi olahragawan, jadi wartawan, jadi pengusaha, jadi anggota DPR, jadi menteri, atau mungkin juga jadi presiden.

Bagi mereka itu pemahaman ilmu fisika secara mendetail, yang sekarang sudah sangat luas dan banyak itu, tidak akan diperlukan. Yang terpenting adalah apakah dari pelajaran fisika yang pernah diperolehnya di SMA itu masih ada yang tersisa dalam benak pemikirannya sepuluh tahun sejak ia tamat SMA itu. Apakah yang tersisa itu benar dirasakan manfaatnya bagi karier dan perjalanan hidup yang harus dilaluinya, khususnya di masa mendatang yang akan diwarnai oleh kemajuan teknologi dalam skala nanometer.

Inti dari fisika kuantum adalah penyadaran kepada kita bahwa perangai alam dalam skala yang sangat kecil pada orde nanometer itu berbeda dengan perangai alam yang selama ini dipelajari sebagai fisika klasik yang cukup handal untuk menangani objek-objek alam yang lazim kita pakai sehari-hari. Pada hal apa yang kita kenal sehari-hari sebagai objek alam yang riil itu dibangun oleh kumpulan dari objek-objek alam dalam skala nanometer tadi. Jika pola berpikir kita tetap diwarnai oleh pengalaman selama ini dengan fisika klasik, dikhawatirkan bahwa cakrawala pandangan kita tetap seperti diibaratkan sebagai “katak dalam tempurung”.

Harus diakui bahwa fisika kuantum, yang sementara ini menjadi satu-satunya andalan kita dalam memahami gejala alam pada skala yang sekecil itu, memang menuntut cara berpikir abstrak dan menggunakan ungkapan-ungkapan yang cukup rumit. Tuntutan akan tambahan kemahiran dalam “bahasa simbolik” memang tidak dapat dihindarkan jika kita benar-benar ingin memahaminya. Karena itu dalam sajian ini masih akan ada tampilan rumus-rumus matematika yang muncul sebagai ungkapan-ungkapannya.

Yang perlu diupayakan adalah kesadaran bahwa rumus-rumus matematika yang dituliskan sebagai ungkapannya itu adalah “bahasa”, dalam arti “alat komunikasi gagasan-gagasan” yang berkaitan dengan perangai objek-objek alam yang riil seperti elektron atau foton. Maka sajiannya dicoba yang ditangkap oleh penggunaannya adalah “makna” yang terkait dalam ungkapan-ungkapan simbolik tadi.

Seorang guru SMA memang perlu mengenal bagaimana fisika kuantum itu diterapkan dalam membahas objek-objek kuantum tadi, agar yang

bersangkutan dapat memberikan informasi yang benar kepada siswa-siswanya. Hanya saja yang perlu dikomunikasikan adalah makna serta ciri-ciri utama yang menjadi dasar cara pandang baru yang berbeda dengan fisika klasik. Tidak pada tempatnya apabila ungkapan-ungkapan simbolik yang terdapat dalam modul belajar ini disajikan dalam bentuk seperti adanya kepada siswa-siswanya kelak. Pengamatan saya selama ini menunjukkan bahwa banyak pengajar menampilkan ungkapan-ungkapan simbolik matematika yang rumit, untuk menambah “gengsi” ilmu fisika. Pada hemat saya, tanpa memahami makna dari lambang-lambang matematika yang ditampilkannya itu, upaya tersebut justru membuat siswa menjadi bingung dan membentuk kebiasaan sekadar **membuat tulisan rumus matematika** untuk memberi kesan dia sudah mengerti.

Peta sajian dalam bentuk modul-modul pada garis besarnya seperti berikut.

### **Modul 1**

Pada modul ini akan diulangi uraian tentang hasil-hasil pengamatan eksperimen yang “bertentangan” dengan anggapan-anggapan yang mewarnai fisika klasik, seperti bagaimana cara menafsirkan efek fotolistrik, spektrum absorpsi,.... dan sebagainya. Juga dibahas alternatif-alternatif pemikiran yang terjadi pada awal-awal pembentukan “alat bernalar lain” untuk menjawab kebingungan tentang sifat kembar gelombang-partikel, sampai akhirnya tiba pada wujud *awal mekanika kuantum*.

### **Modul 2**

Karena fisika kuantum hanya dapat diungkapkan dengan menggunakan lambang-lambang matematika, maka dibahas apa makna dari lambang-lambang seperti bilangan dasar logaritma, serta bilangan imajiner. Dua lambang bilangan tersebut akan banyak bermunculan dalam pembahasan fisika kuantum, tetapi sering kali tidak dipahami maknanya mengapa kita harus menggunakan besaran-besaran semacam itu. Maka dibuat uraian yang diharapkan dapat lebih meyakinkan alasan penggunaan besaran-besaran tersebut. Dalil-dalil Fourier mengenai fungsi-fungsi periodik juga dibahas agar makna dari cara mewujudkan “partikel-gelombang” dapat lebih mudah

dipahami. Caranya Newton mengungkapkan hukum-hukum mekanikanya tidak harus dilihat sebagai satu-satunya model. Ada ungkapan lain, misalnya ungkapan Hamilton yang melukiskan hukum mekanika klasik yang sama. Ungkapan Hamilton ternyata lebih cocok untuk menggarap fisika kuantum daripada caranya Newton.

### **Modul 3**

Berbekal pada pemahaman bahasa simbolik dari Modul 2, bentuk sederhana dari fisika kuantum dibahas pada modul ini. Akan dijumpai sifat-sifat yang “aneh” sebagai konsekuensi paham kita tentang objek alam yang wujudnya “partikel-gelombang”, lewat contoh-contoh yang sederhana. Kemudian diperkenalkan bentuk abstrak aljabar linier ruang vektor dengan dimensi besar, serta representasi matriksnya. Operator-operator diferensial dimaknakan sebagai operator matriks, dengan vektor-eigen serta nilai-eigennya (contohnya diambil yang dimensinya kecil). Pencarian nilai-eigen energi yang memegang peranan sentral dalam pendekatan mekanika kuantum dibahas agak mendalam.

### **Modul 4**

Setelah konsep-konsep dasar dipahami lewat contoh-contoh sederhana yang tidak melibatkan kemahiran bahasa simbolik yang berat, sekarang diperkenalkan bentuk-bentuk objek yang lebih riil, yaitu yang menggunakan kalkulus ruang dimesi-3. Fokusnya pada gaya sentral untuk melukiskan perantai atom paling sederhana, yaitu atom-hidrogen. Penggunaan fungsi-fungsi khusus seperti “spherical harmonics” lebih ditekankan pada karakteristiknya dalam hubungan dengan simetri-bola. Pengertian momentum sudut yang bentuk operator serta karakteristiknya berbeda dengan ungkapan klasik dibahas sepanjang sifat-sifat khususnya.

### **Modul 5**

Harus diakui bahwa ungkapan analitik tidak selamanya mampu untuk dijadikan wadah solusi perantai objek-objek alam yang luas. Modul ini diisi dengan teknik pendekatan/aprosimasi, untuk mengatasi keterbatasan bahasa matematika dalam mengungkapkan secara analitik (yang sifat-sifatnya

mudah dikenal) persoalan-persoalan fisika yang secara riil dijumpai. Dibahas secara sederhana cara-cara pendekatan seperti Teori Gangguan Bebas Waktu, dan Metode Variasi. Dengan sengaja teknik pendekatan lain yang melibatkan bahasa simbolik yang berat tidak disajikan di sini.

## **Modul 6**

Modul ini akan digunakan untuk membahas paham spin-elektron yang ditafsirkan dari percobaan Stern-Gerlach, yang kelak juga dimanfaatkan untuk memahami perangai inti-atom. Bersama dengan asas eksklusif Pauli, konsep sederhana ini mengubah pemahaman kita tentang pelbagai fakta eksperimen yang berkaitan perangai atom, serta bagaimana kita dapat memahami struktur periodik dari atom-atom yang ada. Perangai molekul yang sangat sederhana juga dibahas bentuk gerak mekanikanya secara kuantum seperti rotasi dan vibrasi, serta kaitannya dengan hasil-hasil pengamatan spektroskopi. Pengalaman itu pula yang kemudian digunakan untuk menggarap perangai kumpulan objek yang banyak serta melahirkan statistik kuantum.

## **Modul 7**

Sejumlah perangai zat padat yang tak dapat diterangkan dengan paham-paham fisika klasik menjadi pokok bahasan di sini, seperti kapasitas panasnya, distribusi elektron-elektron secara Fermi-Dirac, sifat kelistrikan dan kemagnetan, ..dan sebagainya.

## **Modul 8**

Salah satu teknik “pengamatan” yang banyak digunakan dalam menggali sifat-sifat atom dan inti-atom adalah lewat hamburan (*scattering*). Ini dibahas secara sederhana sebagai gangguan sesaat (hanya berlaku dalam waktu yang relatif singkat). Konsep-konsep seperti penampang hamburan diharapkan dapat ditumbuhkan lewat modul ini.

## **Modul 9**

Sebagai bagian terakhir, modul ini diharapkan dapat mengungkap dasar-dasar perbedaan mekanika kuantum, dengan pelbagai keanehannya, seperti

“quantum entanglement”. Paham seperti ini akan penting artinya bagi perkembangan yang sedang berjalan yaitu komputasi dalam skala nanometer yang harus menggunakan prinsip-prinsip quantum yang amat berbeda coraknya dibandingkan dengan cara-cara yang sekarang ini dilakukan.

**Catatan:**

Ada sedikit perubahan dari format yang dipakai masa lalu. Pada format lama ada yang disebut “Tes Formatif”. Hasil Tes tersebut sesungguhnya hanya akan dinilai oleh pemakai modul sendiri. Disediakan 4 pilihan “jawaban”, dengan ciri yang sudah dipastikan bahwa *satu dan hanya satu jawaban yang “benar”*. Si pemakai modul harus melakukan evaluasi diri apakah ia memilih alternatif jawaban yang benar. Prosesnya dilakukan secara mekanik seperti yang dilakukan oleh mesin komputer.

Dalam upaya menghargai martabat para guru SMA tersebut, disajikan pendekatan yang sedikit berbeda dalam upaya memberi kesempatan kepada mereka untuk membuat evaluasi diri. Harus diakui bahwa dalam praktek ujian massal nantinya mereka memang hanya harus memilih satu dari empat pilihan, karena metode layanan pembelajaran jarak jauh kita masih menggunakan cara ini (meskipun nantinya dengan teknik e-learning kita juga dapat mendesain metode evaluasi yang lebih efektif).

Pada tahapan transisi lewat modul cetak ini, empat pilihan jawaban masih disediakan. Tetapi pilihan-pilihan jawaban tersebut hanya bersifat “pancangan”. Jadi, ada kalanya yang benar bisa lebih dari satu, ada kalanya malahan tidak satu pun di antaranya pilihan itu merupakan jawaban yang benar. Pada bagian akhir modul diupayakan adanya uraian mengapa jawaban itu benar atau punya unsur kebenaran. Ini diharapkan dapat menggantikan apa yang dahulu disebut “latihan”. Juga diupayakan agar “latihan” ini sesedikit mungkin melibatkan hitungan dengan matematika yang rumit.

Tentang pustaka untuk sumber belajar tambahan, yang dituliskan di sini hanyalah beberapa sumber yang tidak seluruhnya tepat untuk digunakan, tetapi mungkin dapat sekadar memperkaya informasi tentang hal-hal yang kurang jelas diungkap dalam modul ini. Modul ini berupa modul cetak, sehingga belum dapat menampung cara berkomunikasi visual yang interaktif, suatu hal yang amat penting dalam membahas objek-objek alam dalam skala

nanometer yang sifatnya abstrak itu. Saat ini cukup banyak sumber-sumber di internet yang mudah didapat secara cuma-cuma. Sumber-sumber itu berkembang jumlah serta isinya dengan cara yang sangat cepat, sehingga informasi tentang alamat-alamatnya pun cepat kedaluwarsa. Karena itu sebagai pedoman dasar yang bisa kita pegang adalah menggunakan “search engine” seperti Google atau Yahoo, dengan mengetikkan judul objek yang ingin kita ketahui lebih mendalam. Dari situ akan kita dapatkan ratusan, bahkan ribuan makalah serta visualisasi interaktif yang memudahkan kita memahaminya.

**Peta Kompetensi  
Fisika Kuantum (PEFI4419)**

