

**PENGAJARAN MATERI FISIKA MODERN
UNTUK
MAHASISWA FISIKA**



Disusun oleh:

Philips Nicolas Gunawidjaja, PhD

Risti Suryantari, MSc

Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat

Universitas Katolik Parahyangan

2012

Daftar Isi

Abstrak	ii
Bab 1 Pendahuluan	1
Bab 2 Tinjauan Pustaka	
2.1 SAP Fisika Modern Tahun 2010	3
2.2 Materi Fisika Modern untuk Mahasiswa Fisika di ITB, UI dan UPI	5
2.3 Materi Fisika Modern untuk Mahasiswa Fisika di Imperial College, London	6
2.4 Metode Pembelajaran	7
2.5 Peran Fisika Modern	7
2.6 Perkembangan Fisika Modern	8
Bab 3 Metode Penelitian	9
Bab 4 Jadwal Pelaksanaan	10
Bab 5 Hasil dan Pembahasan	11
5.1 Perbaikan Pengajaran Fisika Modern	12
5.1.1 Pembagian Materi Fisika Modern	12
5.1.2 Penekanan Materi	14
5.1.3 Penemuan Baru	14
5.2 Metode Pembelajaran	15
Bab 6 Kesimpulan dan Saran	16
Daftar Pustaka	17
Lampiran	18

Abstrak

Fisika Modern merupakan salah satu mata kuliah penting untuk mahasiswa program studi Fisika, Universitas Katolik Parahyangan (Unpar). Mata kuliah ini membahas konsep-konsep yang dikembangkan di awal abad 20, dimana perumusan-perumusan dalam Fisika Klasik tidak lagi mampu menjelaskan fenomena-fenomena yang terjadi pada materi dengan skala atomik/subatomik atau partikel yang bergerak dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya. Laporan ini membahas bagaimana materi Fisika Modern dapat diberikan kepada mahasiswa program studi Fisika Unpar secara efektif, tepat dan benar.

Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi tidak dapat dipisahkan dari Fisika Modern. Pada kenyataannya, pemahaman mengenai konsep Fisika Modern menjadi lebih sulit karena ruang lingkupnya terkait dengan dunia mikroskopis (kuantum) atau kecepatan mendekati kecepatan cahaya (relativitas) yang tidak dapat diamati langsung oleh panca indera. Berbagai referensi dengan topik yang beraneka ragam terkadang memberikan interpretasi yang berbeda apabila tidak dilakukan pendalaman terhadap topik tersebut.

Sebagai calon fisikawan, mahasiswa perlu memahami konsep tersebut dengan baik dan benar, sebagai langkah awal untuk memahami tingkat ilmu yang lebih tinggi seperti Mekanika Kuantum, Kuantum Relativistik dan Fisika Nuklir. Selain itu, perlu dipilih prioritas dalam pemahaman tersebut—mengingat Fisika Modern adalah sebuah mata kuliah pendahuluan dan dipelajari pada tahun pertama di program studi Fisika, Unpar.

Pemahaman yang baik dan benar tentu berhubungan dengan cara penyampaian materi. Penyampaian materi yang terstruktur dan konsisten menjadi penting. Penyampaian materi yang menarik juga diperlukan seperti penjelasan materi yang dilengkapi dengan gambar (visualisasi), contoh permasalahan yang nyata, fenomena alam dan aplikasi.

Perkembangan Fisika Modern selalu mengalami kemajuan, maka informasi yang diberikan haruslah *up to date* (terkini), dan revisi berkala perlu dilakukan. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini dilakukan kajian topik-topik yang perlu diprioritaskan di tahun pertama, beserta perbaikan dalam pengajaran berdasarkan apa yang telah dilakukan hingga saat ini.

Dalam laporan ini, bab 2 berisi tinjauan pustaka dimana Satuan Acara Perkuliahan (SAP) mata kuliah Fisika Modern sebelum Semester Ganjil 2011/2012 diulas dan perbandingan silabus mata kuliah Fisika Modern di Perguruan Tinggi lain, baik di dalam maupun di luar negeri, dipelajari. Bab 3 berisi Metode Penelitian dimana bagan alir penelitian mengenai apa yang

dikerjakan dalam penelitian ini dilaporkan. Bab 4 berisi Jadwal Pelaksanaan Penelitian, sedangkan Bab 5 berisi Hasil dan Pembahasan. Laporan ditutup dengan Bab 6 yang berisi Kesimpulan penelitian dan Saran mengenai bagaimana penelitian ini dapat dikembangkan.

Tinjauan Pustaka

2.1 SAP Fisika Modern Tahun 2010

Berdasarkan SAP mata kuliah Fisika Modern, Program Studi Fisika Unpar tahun 2010, perkuliahan diawali dengan pendahuluan mengenai keterbatasan Fisika Klasik hingga lahirnya Fisika Modern. Topik Relativitas Khusus dibahas dalam empat pertemuan, dan selebihnya mengenai topik Fenomena Kuantum hingga Model Atom. Sampai dengan tahun ajaran 2011-2012, perkuliahan Fisika Modern yang diberikan menggunakan referensi utama dari buku tulisan Beiser (*Concepts of Modern Physics*). Materi Pokok yang tercakup dalam Fisika Modern (Beiser, 2003) adalah:

1. Relativitas khusus
2. Sifat partikel dari gelombang
3. Sifat gelombang dari partikel
4. Struktur atom
5. Mekanika kuantum
6. Teori kuantum atom hidrogen
7. Atom dengan banyak elektron
8. Molekul
9. Mekanika statistik
10. Zat padat
11. Struktur nuklir (inti atom)
12. Transformasi nuklir (Radioaktivitas)
13. Partikel elementer

Namun karena bobot kuliah hanya 3 SKS, maka sulit untuk menyelesaikan seluruh materi tersebut dengan baik. Dapat dilihat dalam tabel 2.1. bahwa materi yang dicakup dalam pembelajaran Fisika Modern di Program Studi Fisika Unpar hanya membahas 7 dari 13 Materi Pokok mengenai Fisika Modern.

Tabel 2.1. Pembagian materi Fisika Modern menurut SAP 2010

Pertemuan	Pokok Bahasan	Sub Pokok Bahasan
1	Pendahuluan	Sejarah perkembangan Fisika, Fisika Klasik dan keterbatasannya, percobaan Michelson Morley
2	Teori Relativitas Khusus	Postulat teori Relativitas Khusus
3	Teori Relativitas Khusus	Dilatasi waktu Efek Doppler untuk cahaya Kontraksi panjang
4	Teori Relativitas Khusus	Relativitas massa Transformasi Lorentz
5	Sifat Partikel dari Gelombang	Gejala kuantum Hukum Stefan Boltzmann Pergeseran Wien Hipotesa Planck
6	Sifat Partikel dari Gelombang	Efek fotolistrik Difraksi sinar-X
7	Sifat Partikel dari Gelombang	Efek Compton Produksi pasangan
Ujian Tengah Semester		
8	Sifat gelombang dari partikel	Postulat de Broglie Difraksi partikel
9	Sifat gelombang dari partikel	Representasi gelombang de Broglie: Partikel dalam kotak
10	Sifat gelombang dari partikel	Ketidakpastian Heisenberg

11	Model atom	Model atom Thomson Percobaan Rutherford
12	Model atom	Model atom Rutherford Spektrum atom Hidrogen
13	Model atom	Model atom hidrogen menurut Bohr
Ujian Akhir Semester		

2.2 Materi Fisika Modern untuk Mahasiswa Fisika di ITB, UI dan UPI

Pemberian materi Fisika Modern menurut SAP 2010, mengacu pada materi Fisika Modern di Institut Teknologi Bandung (ITB). Adapun deskripsi materi mata kuliah Fisika Modern di ITB adalah sebagai berikut:⁷

FI2103 Fisika Modern (Wajib, 3 SKS)

Silabus ringkas

Review fisika klasik, satuan dan besaran, serta angka berarti. Teori relativitas khusus, teori kuantum cahaya, sifat gelombang dari partikel, sifat partikel dari gelombang, persamaan Schrödinger dan penerapannya, model atom Rutherford-Bohr, atom hidrogen dan mekanika gelombang, atom berelektron banyak, zat padat, struktur inti dan radioaktivitas.

References/Bibliography

1. Krane, K., Modern Physics, 2nd ed., John Wiley & Sons, 1996
2. Beiser, A., Concept of Modern Physics, 5th ed., McGraw Hill, 1995
3. Blatt, F. J., Modern Physics, McGraw Hill, 1992

Hal ini senada dengan pendekatan yang dilakukan di Universitas Indonesia (UI) dimana tujuan perkuliahan Fisika Modern di UI adalah sebagai berikut:

Memperkenalkan mekanika kuantum pada mahasiswa di tingkat awal pendidikannya dengan suatu cara yang mengintegrasikan teori dengan sejarah perkembangan dan aplikasinya. Mahasiswa memahami teori relativitas khusus, prinsip mekanika kuantum dan penerapannya pada sistem mikro; menggunakan persamaan Schrödinger untuk menjelaskan gerakan partikel dalam arah satu dimensi sampai dalam koordinat bola; memahami sifat-sifat dasar atom untuk menjelaskan mekanika gelombang, atom hidrogen, dan atom dengan banyak elektron, serta ikatan-ikatan dan gerakan-gerakan dalam struktur molekul.

Informasi rinci mengenai SAP Fisika Modern di UI dilampirkan pada lampiran 1.

Materi (lampiran 2) yang serupa dengan ITB dan UI diberikan juga di Universitas Pendidikan Indonesia (UPI), sehingga dapat disimpulkan bahwa cakupan materi yang diberikan dalam perkuliahan Fisika Modern di ITB, UI dan UPI sudah sesuai dengan materi yang diberikan di Program Studi Fisika Unpar meskipun bagian mengenai zat padat, struktur inti dan radioaktivitas (ITB, UPI) dan ikatan-ikatan dan gerakan-gerakan dalam struktur molekul (UI) belum terakomodasi.

2.3 Materi Fisika Modern untuk Mahasiswa Fisika di Imperial College, London

Selain dari perbandingan materi Fisika Modern dengan ITB, UI dan UPI, perbandingan materi Fisika Modern dengan Universitas di luar negeri seperti di *Imperial College*, London, juga dilakukan.

Materi Fisika Modern di *Imperial College, London*, tidak diberikan dalam satu mata kuliah, namun dibagi menjadi tiga mata kuliah: *Relativity*, *Quantum Physics* dan *Structure of Matter* (lihat lampiran 3 mengenai deskripsi mengenai ketiga mata kuliah tersebut). Materi yang diberikan oleh *Imperial College, London*, sesuai dengan isi dari buku yang ditulis oleh Beiser (*Concepts of Modern Physics*). Materi *Structure of Matter* yang diberikan di *Imperial College, London*, perlu dipertimbangkan oleh program studi Fisika Unpar mengingat materi ini juga diberikan di ITB, UI dan UPI.

2.4 Metode Pembelajaran

Metode pembelajaran hingga tahun ajaran 2010-2011 adalah menjelaskan secara lisan dengan media *powerpoint*, mempresentasikan secara visual, berdiskusi, dan berlatih soal. Evaluasi dilakukan dengan hasil pekerjaan rumah, kuis, ujian tengah semester dan ujian akhir semester. Mulai tahun ajaran 2011-2012 secara khusus terdapat alokasi waktu bagi penjelasan materi dan diskusi. Mata kuliah Fisika Modern memiliki bobot 3 SKS (3 jam perkuliahan), maka pembagiannya adalah 2 jam penjelasan materi dan 1 jam diskusi. Penjelasan materi dilakukan dengan menggunakan media *powerpoint*, secara lisan atau tulisan dengan media papan tulis.

Materi yang dijelaskan menekankan deskripsi secara kualitatif, dengan pertimbangan mahasiswa yang mengambil mata kuliah ini adalah mata kuliah tingkat pertama. Segi kuantitatif diberikan dengan cara menuntun mahasiswa berlatih mengerjakan latihan soal-soal dalam materi perkuliahan.

Dalam diskusi, dosen menentukan topik-topik khusus seperti: teori Big-Bang dan pembentukan alam semesta, *black hole*, galaksi-galaksi di alam semesta, teknologi sinar- X , dan nuklir, dengan tujuan agar mahasiswa akan semakin menikmati mata kuliah ini. Diskusi didukung dengan video dan panduan pertanyaan sehingga lebih terarah.

Hasil evaluasi ditentukan dari keaktifan diskusi, pekerjaan rumah, kuis, ujian tengah semester dan ujian akhir. Hasil evaluasi rata-rata baik karena didukung oleh keaktifan diskusi dan pekerjaan rumah yang memiliki porsi yang besar.

2.5 Peran Fisika Modern

Fisika modern merupakan mata kuliah ‘penjembatan’ menuju mata kuliah di tingkat lanjut, seperti pengantar Fisika Material, Gelombang, Struktur Materi, Optika Modern, Fisika Kuantum dan Pengantar Fisika Nuklir. Dalam kuliah Fisika Modern, mahasiswa dijelaskan mengenai perkembangan Fisika Modern, dan hal ini bukan saja sangat menunjang mata kuliah wajib pada tingkat lanjut dan juga hampir seluruh mata kuliah pilihan. Pemahaman kualitatif sebenarnya tidaklah cukup untuk mengantarkan menuju ke tingkat lanjut, karena pada akhirnya mahasiswa akan sering menemui tinjauan-tinjauan matematis pada perkuliahan tingkat lanjut. Seorang fisikawan diharapkan memiliki kompetensi baik dalam hal fisis maupun matematis, karena kedua hal tersebut tidak dapat dipisahkan (kurikulum fisika 2008). Untuk mengantisipasi hal tersebut, penekanan kuantitatif juga dipertimbangkan dalam pengajaran materi Fisika

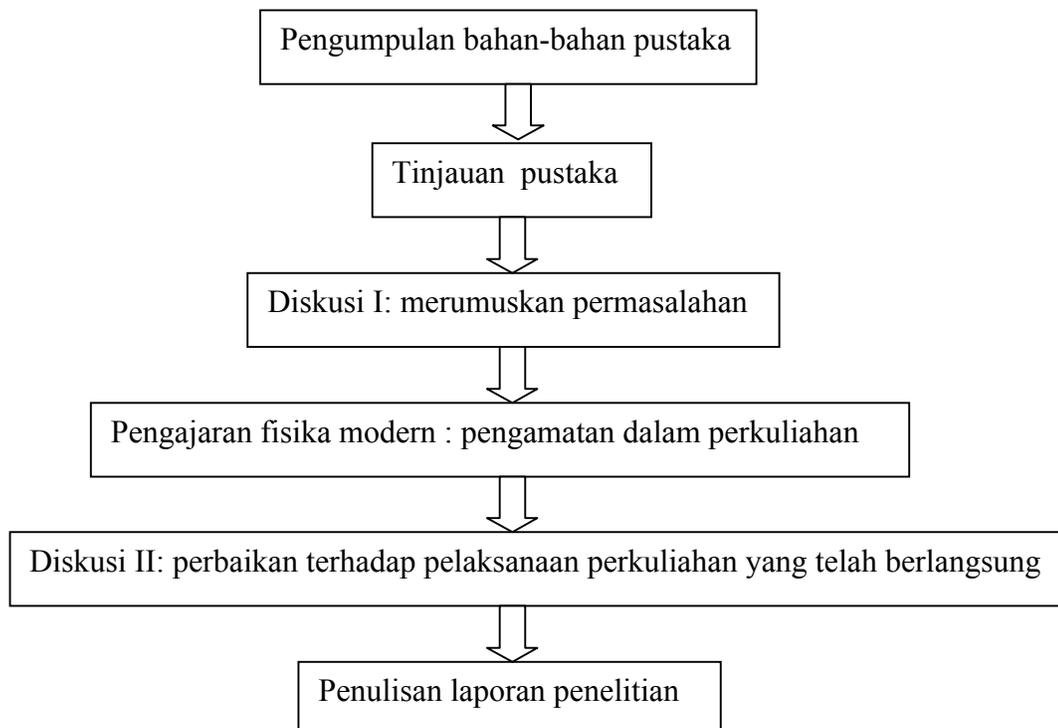
Modern di program studi Fisika Unpar dan seperti diulas di atas, hal tersebut diberikan ketika mahasiswa berlatih mengerjakan latihan soal-soal Fisika Modern.

2.6 Perkembangan Fisika Modern

Seiring dengan perkembangan zaman, ditemukan hal-hal baru yang berhubungan dengan pembelajaran Fisika Modern, misalnya perkembangan teori *black hole*, penemuan partikel-partikel baru, perkembangan jagad raya, penemuan benda langit, fenomena alam, aplikasi-aplikasi baru dalam teknologi dan sebagainya. Penemuan-penemuan tersebut terus berkembang, dan menjadi bagian dari perkembangan ilmu fisika secara luas. Informasi tentang penemuan baru dapat ditemui dalam berbagai jurnal fisika, buku-buku dan media elektronik dan media publikasi lain sehingga perlu ada pertemuan khusus dalam perkuliahan yang membahas mengenai perkembangan Fisika Modern.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah studi pustaka khususnya terkait dengan perkuliahan sebelumnya, buku referensi yang digunakan dan studi banding dengan materi Fisika Modern yang disajikan di Universitas lain baik di dalam maupun di luar negeri. Hal tersebut telah dibahas di Bab 2, Tinjauan Pustaka, karena penelitian yang dilakukan berbentuk studi pustaka. Penelitian dilanjutkan dengan mencoba menerapkan metode lain dalam pengajaran dan mengamati perkembangan mahasiswa selama perkuliahan semester genap tahun ajaran 2011-2012 berlangsung, kemudian berdasarkan hal tersebut dapat ditentukan prioritas materi berikut metode pengajaran serta referensi yang baik digunakan. Diagram alir penelitian disajikan dalam gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Jadwal Pelaksanaan

Jadwal pelaksanaan penelitian pengajaran materi Fisika Modern untuk mahasiswa Fisika adalah seperti pada tabel 4.1. Penelitian dimulai dengan tinjauan pustaka yang dilakukan pada bulan Januari–Februari 2012 diselingi dengan diskusi yang dilakukan pada bulan Januari–Maret 2012 mengenai bagaimana tinjauan pustaka tersebut dapat diterapkan pada perkuliahan yang berlangsung di semester genap 2011/2012. Diskusi dilanjutkan pada bulan Mei–Juni 2012 seiring dengan penulisan laporan penelitian pengajaran materi Fisika Modern untuk mahasiswa Fisika.

Tabel 4.1. Jadwal pelaksanaan penelitian pengajaran fisika modern untuk mahasiswa fisika

	Jan	Feb	Mar	April	Mei	Juni	Juli
Tinjauan pustaka							
Diskusi I							
Pengajaran Fisika Modern							
Diskusi II							
Penulisan laporan							

Hasil dan Pembahasan

Secara umum perkuliahan di jurusan Fisika bertujuan untuk menghasilkan anak didik yang kompeten dalam bidang ilmu ini melalui mata kuliah yang dipelajari. Kompetensi tersebut adalah kemampuan membangun dan memahami konsep, kemampuan dalam melakukan pengamatan langsung maupun tidak langsung, kemampuan berpikir analitis dan logis, didukung dengan kemampuan lain seperti dalam hal komputasi dan matematika. Tidak dapat dipungkiri bahwa ilmu Fisika memerlukan Matematika sebagai sebuah ‘bahasa’ untuk menjelaskan berbagai fenomena, sehingga kemampuan matematis untuk menjelaskan atau menyelesaikan persoalan secara kuantitatif juga penting.

Mata kuliah Fisika Modern diberikan pada mahasiswa tahun pertama program studi Fisika Unpar, pada semester genap. Mahasiswa di tahun pertama seringkali mengalami kendala minimnya pengetahuan konsep karena perbedaan cara pembelajaran di perguruan tinggi dibandingkan ketika mereka duduk di bangku SMA. Pembelajaran di SMA saat ini secara global menekankan pada kemampuan menyelesaikan soal kuantitatif dengan cara praktis, karena tuntutan nilai akhir sebagai parameter kelulusan. Padahal mata kuliah Fisika Modern memiliki peran besar dalam menunjang mata kuliah lain di tingkat lanjut. Apabila tidak tercapai kompetensi yang diharapkan, maka akan menjadi kendala bagi keberhasilan mahasiswa di tingkat lanjut.

Topik pada kuliah Fisika Modern agak berbeda dengan Fisika Klasik, pemahaman mengenai konsep Fisika Modern menjadi lebih sulit karena ruang lingkungannya terkait dengan dunia mikroskopis (kuantum) atau kecepatan mendekati kecepatan cahaya (relativitas) yang tidak dapat diamati langsung oleh panca indera.

Hasil perkuliahan menunjukkan bahwa pemahaman mengenai Fisika Modern masih kurang, khususnya terhadap pemahaman kuantitatif. Hal ini nampak pada mata kuliah terkait di tingkat yang lebih tinggi seperti Pengantar Fisika Material, Gelombang, Struktur Materi, Optika

Modern, Fisika Kuantum dan Pengantar Fisika Nuklir. Oleh karena itu perlu dilakukan tinjauan ulang terhadap SAP 2010 dengan melakukan prioritas terhadap suatu topik.

Untuk mendukung pemahaman mahasiswa, tidaklah cukup hanya dengan menggunakan referensi yang selama ini digunakan karena sisi penyampaian materi yang kurang mendalam. Berbagai referensi dengan topik yang beraneka ragam terkadang memberikan interperspektif yang berbeda apabila tidak dilakukan pendalaman terhadap topik tersebut. Mengingat bahwa peserta mata kuliah adalah mahasiswa tahun pertama, maka perlu strategi dalam penyampaian materi agar esensi terhadap dunia mikroskopis dapat tumbuh dan tetap terjaga dengan baik.

5.1 Perbaikan Pengajaran Fisika Modern

Perbaikan pengajaran Fisika Modern bertujuan untuk peningkatan pemahaman akan pentingnya mata kuliah ini, peningkatan esensi terhadap fisika secara luas dan peningkatan pemahaman terhadap konsep secara kualitatif maupun kuantitatif untuk menunjang mata kuliah pada tingkat lanjut. Perbaikan difokuskan pada materi dan metode pembelajaran.

5.1.1 Pembagian Materi Fisika Modern

Dengan pertimbangan keterbatasan waktu dan disesuaikan dengan materi yang diberikan di universitas lain, baik di dalam maupun di luar negeri, maka materi saat ini dapat dikembangkan. Selain topik relativitas khusus dan fenomena kuantum, perlu diberikan juga topik mengenai struktur materi. Mengingat tingkat kesulitan dan kepentingannya, alokasi waktu antara ketiga topik ini perlu dipertimbangkan. Dari ketiga topik tersebut, relativitas khusus dan fenomena kuantum memerlukan waktu yang lebih banyak dibandingkan struktur materi. Oleh sebab itu pada pertemuan sebelum UTS, enam pertemuan akan difokuskan pada relativitas khusus dan satu pertemuan digunakan untuk membahas mengenai pengantar fenomena kuantum. Setelah UTS, lima pertemuan akan difokuskan pada topik fenomena kuantum dan dua pertemuan akan digunakan untuk membahas struktur materi. Hal ini dilakukan untuk memberikan pemahaman Fisika Modern yang baik kepada mahasiswa Fisika. Gambaran pembagian materi disajikan dalam tabel 5.1.

Untuk menunjang kegiatan pembelajaran dengan pembagian materi tersebut, maka dipilih referensi yang mendukung. Adapun buku-buku yang digunakan adalah buku tulisan A.P. French (A.P. French, 1968, *Special Relativity*, W.W. Norton), S. Gasiorowicz (S. Gasiorowicz, 1974,

Quantum Physics, 3rd edition, John Wiley & Sons.), A. Beiser (Beiser, A, 2003, Concepts of Modern Physics, McGraw-Hill, New York) dan H.D. Young dan R.A. Freedman (H.D. Young; R.A. Freedman, 2004, University Physics with Modern Physics, 11th Edition, Addison Wesley.).

Tabel 5.1: Pembagian materi fisika modern

Pertemuan	Pokok Bahasan	Sub Pokok Bahasan
1	Teori relativitas khusus	Sejarah perkembangan fisika, fisika klasik dan keterbatasannya, penjelasan umum teori relativitas khusus dan umum.
2	Teori relativitas khusus	Percobaan Michelson Morley Postulat Teori relativitas khusus
3	Teori relativitas khusus	Dilatasi waktu Efek Doppler untuk cahaya
4	Teori relativitas khusus	Kontraksi panjang Paradoks kembar
5	Teori Relativitas khusus	Relativitas momentum Kesetaraan massa-energi
6	Teori relativitas khusus	Transformasi Lorentz Kecepatan relativistik
7	Fenomena kuantum	Dualisme partikel-gelombang: Hukum Stefan Boltzmann Pergeseran Wien Hipotesa Planck
Ujian Tengah Semester		
8	Fenomena kuantum	Efek fotolistrik Difraksi sinar-X
9	Fenomena kuantum	Efek Compton Produksi pasangan
10	Fenomena kuantum	Postulat De Broglie Difraksi partikel

11	Fenomena kuantum	Representasi gelombang de Broglie: Partikel dalam kotak Ketidakpastian Heisenberg
12	Fenomena kuantum	Perkembangan model atom Spektrum atom hidrogen Model atom hidrogen menurut Bohr
13	Struktur Materi	Zat padat Struktur Nuklir
14	Struktur Materi	Radioaktivitas Partikel Elementer
Ujian Akhir Semester		

5.1.2 Penekanan Materi

Pada pengajaran mata kuliah Fisika Modern yang telah dilakukan sampai sebelum dilakukan penelitian Pengajaran Materi Fisika Modern lebih bersifat kualitatif, pemahaman kuantitatif diberikan pula namun terlalu sederhana, padahal pada tingkat lanjut mereka akan menghadapi berbagai tinjauan matematis pada beberapa mata kuliah wajib dan pilihan. Oleh sebab itu, penekanan kuantitatif merupakan hal yang penting dalam mendeskripsikan Fisika Modern. Dalam penelitian ini, materi yang penekanannya bersifat kuantitatif diterapkan dalam pembelajaran. Khususnya bagaimana memecahkan persoalan yang bersifat matematis, dan kemudian mampu memaknai secara fisis. Dengan demikian kompetensi mahasiswa fisika yang diharapkan dapat tercapai.

5.1.3 Penemuan Baru

Seiring dengan perkembangan zaman, dimana ditemukan ‘hal baru’ yang berhubungan dengan pembelajaran Fisika Modern, dinilai penting untuk dapat memasukkan ‘hal baru’ tersebut dalam pembelajaran Hal ini akan menjadi stimulan bagi mahasiswa untuk kemudian mencari sendiri perkembangan-perkembangan ilmu, didasari rasa keingintahuan yang tinggi. Dengan demikian pemikiran mahasiswa pun akan berkembang, dan mampu memunculkan gagasan-gagasan inovatif bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

5.2. Metode Pembelajaran

Metode pembelajaran yang diterapkan pada perkuliahan semester genap tahun ajaran 2011-2012 cukup efektif. Keaktifan dan ketertarikan mahasiswa cukup tinggi dalam diskusi dengan topik khusus. Berbagai ide dan gagasan muncul, meskipun masih belum sampai taraf ingin mencoba, namun ide yang diungkapkan adalah awal bagi peran serta mahasiswa dalam melakukan sesuatu yang bermanfaat. Metode ini masih dapat diterapkan bagi perkuliahan selanjutnya.

Dalam menyampaikan materi yang bersifat kuantitatif diperlukan strategi agar mahasiswa mampu menerima dengan baik. Salah satu hal yang dapat dilakukan adalah dengan mengawali pengajaran secara kualitatif, untuk membangun suasana yang kondusif, hingga didapatkan situasi dimana mahasiswa tertarik untuk mempelajari segi kuantitatif. Tentu saja seorang dosen harus memahami karakter dan situasi pada kelas tersebut. Strategi lain adalah kerja kelompok dalam memecahkan persoalan secara kuantitatif, dan membandingkan hasil pengerjaan satu dengan yang lainnya, mahasiswa akan mengetahui kekurangan masing-masing. Dalam hal ini, dosen berperan sebagai penengah, sehingga tidak membuat mahasiswa menjadi tidak percaya diri.

Kesimpulan dan Saran

Pengajaran mata kuliah Fisika Modern yang telah dilakukan sampai sebelum dilakukan penelitian Pengajaran Materi Fisika Modern untuk Mahasiswa Fisika, dinilai cukup baik—mengingat materi yang diberikan pada perkuliahan tersebut sudah sesuai dengan hasil dalam penelitian ini. Perlu ditambahkan satu topik mengenai Struktur Materi, mengingat topik ini merupakan bagian dari Fisika Modern dan diajarkan di berbagai Universitas baik di dalam maupun di luar negeri. Beberapa hal yang telah dilakukan dalam penelitian ini, guna meningkatkan pembelajaran Fisika Modern adalah sebagai berikut:

1. Pembagian materi antara topik relativitas khusus, fenomena kuantum dan struktur materi direvisi sehingga penekanan pada ketiga topik tersebut disesuaikan. 6 pertemuan digunakan untuk membahas materi Fisika Modern yang berisi topik relativitas khusus dan 6 pertemuan berisi topik fenomena kuantum, dan 2 pertemuan berisi struktur materi.
2. Penekanan materi pada pengajaran mata kuliah Fisika Modern yang telah dilakukan sampai sebelum dilakukan penelitian Pengajaran Materi Fisika Modern lebih bersifat kualitatif, sedangkan penekanan kuantitatif merupakan hal yang penting dalam mendeskripsikan Fisika Modern. Dalam penelitian ini, materi yang penekanannya bersifat kuantitatif diterapkan dalam pembelajaran.
3. Metode penyampaian materi harus menyesuaikan dengan situasi dan karakter kelas, khususnya dalam menyampaikan materi kuantitatif. Salah satu cara yang dilakukan adalah dalam bentuk kerja kelompok dan diskusi terhadap topik-topik khusus yang menarik, yang sesuai dengan perkembangan ilmu, pada setiap pertemuan.
4. Seiring dengan perkembangan zaman, dimana ditemukan ‘hal baru’ yang berhubungan dengan pembelajaran Fisika Modern, dinilai penting untuk dapat memasukan ‘hal baru’ tersebut dalam pembelajaran.

Daftar Pustaka

1. A.P. French, 1968, Special Relativity, W.W. Norton
2. A. Beiser, 2003, Concepts of Modern Physics, 6th Edition, 2003, McGraw-Hill, New York
3. Buku Petunjuk Pelaksanaan Kegiatan Akademik, Kurikulum 2008, FTIS, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung
4. H.D. Young, R.A. Freedman, 2004, University Physics with Modern Physics, 11th Edition, Addison Wesley
5. SAP Fisika Modern, 2010, Jurusan Fisika, FTIS, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung
6. S. Gasiorowicz, 1974, Quantum Physics, 3rd Edition, John Wiley & Sons
7. <https://www.box.com/shared/y8up9q9jcz>

Lampiran 1 – SAP Fisika Modern UI

Lampiran 2 – SAP Fisika Modern UPI

Lampiran 3 – Materi Fisika Modern Imperial College

Relativity: Syllabus

Aims:

To give students an understanding of the theory of special relativity and the ability to use the theory to solve problems related to the motion of bodies.

Objectives:

On completion of the course, students will

- be able to state the fundamental postulates of special relativity
- understand qualitatively the distinction between covariance and invariance of physical quantities
- understand that the Michelson-Morley experiment demonstrates that the speed of light is isotropic in any given inertial frame
- understand an inertial frame consisting of a set of observers
- be able to show using light clocks (a) transverse distance invariance (b) interval invariance and (c) time dilation
- be able to demonstrate qualitatively the origin of the relativity of simultaneity
- be able to relate space and time separations measured in different inertial frames using the Lorentz transformations
- be able to add two relativistic velocities
- be familiar with the concept of a space-time diagram and its use in solving simple problems in special relativity
- know the expressions for relativistic energy and momentum and show their relationship to their Newtonian counterparts
- be able to distinguish between system and particle energy and momentum and describe mathematically their interrelationships
- understand that relativistic energy includes non-mechanical energy such as binding energy
- be able to calculate relativistic energy and momentum in one-dimensional two-body collisions given initial data

- be able to calculate energy and momentum of particles (including photons) in one frame given their values in another frame

Aims:

To provide an introduction to quantum phenomena and wave mechanics.

Objectives:

On completion of this course, students will:

- Be able to write down the equation of a travelling wave in real and complex form; know the definitions of the angular frequency ω and the wave vector k in terms of the frequency f and wavelength λ ; know the meanings of the terms amplitude and intensity applied to waves; know the theory of the two-slit interference experiment.
- Know the Planck equation, $E = h\nu = \hbar\omega$, and the de Broglie equation, $p = h/\lambda = \hbar k$.
- Be aware of the following experimental evidence in favour of the existence of photons satisfying the Planck and de Broglie equations:
 - (a) Detection of individual photons (by photography and other means).
 - (b) The photo-electric effect and Einstein's interpretation of it in terms of quantised photons satisfying the Planck equation.
 - (c) How the results of Compton scattering experiments support the de Broglie equation.
- Be aware of the evidence from diffraction experiments that particles such as electrons, neutrons and He atoms can behave like waves satisfying the Planck and de Broglie equations.
- Know the term dispersion relation and be able to write down the dispersion relations $\omega = ck$ for photons and $\omega = \hbar k^2/2m$ for non-relativistic massive particles.
- Be able to explain how atomic spectra point to the existence of discrete allowed energy orbits.
- Know the Bohr theory of the atom and be able to explain how this theory accounts for the spectra of hydrogenic atoms. Understand how the Bohr quantisation condition relates to the de Broglie relation.
- Appreciate the conceptual difficulty of reconciling the results of the two-slit diffraction experiment with the existence of photons and other quantum mechanical particle-waves.

- Understand the terms wave function, probability amplitude and probability density. Know how these are related to one another.
- Be able to write down the wave function of a travelling wave and to relate the wave vector k and angular frequency ω to the momentum and energy of the particle.
- Be familiar with the idea of a wave packet. Know what is meant by normalising a wave function. Know (without mathematical proof) that wave packets may be obtained by superposing plane waves of different wavelengths.
- Have a qualitative understanding of how the properties of wave packets lead to the position momentum and energy-time uncertainty principles. Appreciate the relationship between the uncertainty principle and diffraction.
- Be able to write down the standing waves that fit into a square well with infinitely high walls. Understand that the discrete set of standing-wave solutions implies a discrete set of quantized energy levels (analogy with harmonics on a violin string). Be aware that similar but more difficult calculations predict/reproduce atomic spectra, shell structure and the periodic table. Know (without mathematical proof) that a general bound state is a superposition of standing waves.
- Be able to write down the time-independent Schrödinger equation and to show that it is satisfied by travelling waves and by standing waves in a square well with infinitely high walls. Know that the results of subatomic experiments are probabilistic in nature, and that the wavefunction immediately after a measurement of the energy is the solution of the time independent Schrödinger equation corresponding to the measured energy level.
- Be familiar with the idea of an evanescent wave and understand how evanescent waves lead to tunnelling. Be able to estimate the probability of tunnelling through a potential barrier (using decay rate of evanescent wave only). Be able to describe the physics underlying scanning tunnelling microscopy.

Structure of Matter: Syllabus

Aims:

Provide an overview of the characteristics of solids, liquids and gases, and to introduce some of the basic ideas involved in explaining the macroscopic properties of matter in terms of microscopic behaviour.

Objectives:

- appreciate the distinction between the macroscopic and microscopic views of matter
- understand the main qualitative differences between solids liquids and gases at the microscopic level
- be aware that atoms are in continual thermal motion
- know the difference between heat and temperature and be familiar with the concept of absolute temperature
- know what a mole is, and be able to use Avogadro's number to relate the total mass of particles to the number of moles
- understand how the form of the inter-atomic potential energy provides qualitative insights into phase changes and thermal expansion
- know the meaning of the term latent heat
- know and be able to use, the ideal gas equation of state, both in terms of the number of particles and the number of moles
- be able to use Avogadro's number to relate Boltzmann's constant to the universal gas constant
- understand the assumptions needed to derive the ideal gas equation of state using basic kinetic theory
- know the meaning of the term internal energy
- understand the quantitative relationship between the pressure of an ideal gas and its internal energy
- be able to state the theorem of equipartition of energy
- be aware of the different types of degrees of freedom
- know the numbers of each type of degree of freedom which classical theory ascribes to a simple diatomic molecule
- be able to use equipartition to write down the expression for the internal energy of a gas
- understand qualitatively why the number of degrees of freedom of real gases differs from the classical value, and how the number varies as the temperature is increased for diatomic gas
- know the meaning of the terms: equilibrium, quasistatic process, isothermal, adiabatic, isochoric and isobaric
- understand the qualitative difference between work and heat at the microscopic level in terms of the motion of the particles involved
- be able to state the first law of thermodynamics, both for a finite change of internal energy and an infinitesimal change
- be able to plot quasistatic processes on P-V diagrams, and know how the work done is represented on such diagrams

- appreciate that heat and work are process dependent
- know the meaning and difference between the terms: heat capacity, specific heat, molar specific heat, constant volume heat capacity, constant pressure heat capacity
- be able to obtain expressions for the heat capacities of an ideal gas in terms of N , T and the number of degrees of freedom
- understand qualitatively why the constant pressure heat capacity is higher than the constant volume heat capacity
- know, and be able to derive, the relationship between P and V in an adiabatic process in an ideal gas
- be able to derive the differential equation for the variation of fluid pressure with vertical distance, and be able to solve the equation for either an incompressible fluid to give P as a function of depth, or an isothermal ideal gas to give the density variation in an isothermal atmosphere
- know Boltzmann's law concerning the probability of a particle having a certain energy
- understand the concept of velocity space
- be familiar with the Maxwell velocity distribution, both in terms of components of velocity and speed, and be able to normalize it
- be able to derive an expression for the most probable speed in a Maxwell distribution given the values of appropriate standard integrals, be able to take various moments of the Maxwell distribution
- understand qualitatively how gases depart from ideal behaviour
- understand the concept of a mean free path, and be able to derive an expression for it in the case of rigid spherical particles
- be familiar with the 6-12 potential
- understand qualitatively the different types of bonding in molecules and solids
- understand qualitatively the origin of the coefficients a and b in the van der Waals equation of state (note: students are not expected to memorize the exact form of this equation)
- understand qualitatively why the internal energy of a van der Waals gas differs from an ideal gas with the same N and T
- be familiar with the form of isotherms of a van der Waals gas on a P - V diagram
- be familiar with Archimedes' principle
- be familiar with the continuity equation for an incompressible fluid in a pipe
- be aware of the significance of: the critical point, the critical temperature, the triple point
- be familiar with, and able to sketch, the P - V phase diagram for a typical substance, indicating the boundaries between the various phases and the critical point
- be familiar with, and able to sketch, the P - T phase diagram for a typical substance, indicating the boundaries between the various phases, the triple point and the critical point
- given the form of the van der Waals equation of state, be able to derive an expression for the critical temperature
- be familiar with the linear and volume coefficients of thermal expansion

- be able to derive an expression for the heat capacity of a solid using equipartition