

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Penelitian dan Pengembangan

Penelitian merupakan salah satu tugas pendidik yang bertujuan untuk membahas permasalahan yang berkaitan dengan dunia pendidikan. Dalam melakukan penelitian, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan, salah satunya adalah metode *research and development* yang berarti penelitian dan pengembangan. Metode ini dapat memutus kesenjangan antara hasil-hasil penelitian dasar yang bersifat teoritis dengan penelitian terapan yang bersifat praktis. Dalam dunia pendidikan, metode penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan produk baru atau menyempurnakan produk yang telah ada untuk digunakan dalam proses pembelajaran. Hal ini berdasarkan pada pendapat yang dikemukakan oleh Borg dan Gall (1989:624) yang mengungkapkan bahwa, “*Educational Research and Development is a process used to develop and validate educational products.*”

Dalam praktiknya, metode penelitian dan pengembangan memiliki berbagai model sesuai dengan model desain pembelajaran yang digunakan. Menurut Supriatna dan Mulyadi (2009:9), model desain pembelajaran dapat diklasifikasikan ke dalam model berorientasi kelas, model berorientasi sistem,

model berorientasi produk, model prosedural, dan model melingkar. Untuk lebih jelasnya, perhatikan penjelasan berikut ini:

Model berorientasi kelas biasanya ditujukan untuk mendesain pembelajaran level mikro (kelas) yang hanya dilakukan setiap dua jam pelajaran atau lebih. Contohnya adalah model ASSURE. Model berorientasi produk adalah model desain pembelajaran untuk menghasilkan suatu produk, biasanya berupa video pembelajaran, multimedia pembelajaran, atau modul. Contohnya adalah model Hannafin and Peck. Sedangkan model berorientasi sistem yaitu model desain pembelajaran untuk menghasilkan suatu sistem pembelajaran yang cakupannya luas, seperti desain sistem suatu pelatihan, kurikulum sekolah, dll. Contoh model ini adalah model ADDIE. Selain itu ada pula yang biasa kita sebut sebagai model prosedural dan model melingkar. Contoh dari model prosedural adalah model Dick and Carrey sementara contoh model melingkar adalah model Kemp.

Dari penjelasan tersebut, maka peneliti menentukan beberapa model yang digunakan sesuai dengan kebutuhan pengembangan media pembelajaran interaktif. Model-model yang dimaksud sesuai dengan penjelasan menurut Supriatna dan Mulyadi (2009:10-19) adalah sebagai berikut:

### **1. Model Dick and Carrey**

Salah satu model desain pembelajaran yang pertama adalah model Dick and Carey. Model ini termasuk ke dalam model prosedural. Langkah-langkah desain pembelajaran menurut Dick and Carey adalah:

- a. Mengidentifikasi tujuan umum pembelajaran.
- b. Melaksanakan analisis pembelajaran.
- c. Mengidentifikasi tingkah laku masukan dan karakteristik siswa
- d. Merumuskan tujuan performansi
- e. Mengembangkan butir-butir tes acuan patokan
- f. Mengembangkan strategi pembelajaran
- g. Mengembangkan dan memilih materi pembelajaran
- h. Mendesain dan melaksanakan evaluasi formatif
- i. Merevisi bahan pembelajaran
- j. Mendesain dan melaksanakan evaluasi sumatif.

### **2. Model ASSURE**

Model ASSURE merupakan suatu model desain pembelajaran yang memiliki formulasi untuk Kegiatan Belajar Mengajar (KBM) atau

disebut juga model berorientasi kelas. Model ini terdiri atas enam langkah kegiatan yaitu: *Analyze Learners, States Objectives, Select Methods, Media, and Material, Utilize Media and materials, Require Learner Participation, Evaluate and Revise*

### **3. Model ADDIE**

Ada satu model desain pembelajaran yang sifatnya lebih generik yaitu model ADDIE (**A**nalysis-**D**esign-**D**evelop-**I**mplement-**E**valuate). Salah satu fungsi ADDIE yaitu menjadi pedoman dalam membangun perangkat dan infrastruktur program pelatihan yang efektif, dinamis dan mendukung kinerja pelatihan itu sendiri.

### **4. Model Hanafin and Peck**

Model Hannafin dan Peck ialah model desain pembelajaran yang terdiri dari tiga fase yaitu fase analisis kebutuhan, fase desain, dan fase pengembangan dan implementasi. Model ini merupakan model desain pembelajaran yang berorientasi produk. Dalam model ini, penilaian dan pengulangan perlu dijalankan dalam setiap fase. Terdapat dua jenis penilaian yaitu penilaian formatif dan penilaian sumatif. Penilaian formatif ialah penilaian yang dilakukan sepanjang proses pengembangan media sedangkan penilaian sumatif dilakukan setelah media telah selesai dikembangkan.

Prosedur penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini disusun dengan memadukan model-model desain pembelajaran tersebut. Akan tetapi model Hanafin dan Peck menjadi model yang mendominasi prosedur penelitian ini. Hal ini dikarenakan model ini berorientasi pada pengembangan produk. Fase pertama dari model Hannafin dan Peck adalah analisis kebutuhan. Fase ini diperlukan untuk mengidentifikasi kebutuhan-kebutuhan dalam mengembangkan suatu media pembelajaran termasuk di dalamnya tujuan pembuatan media, pengetahuan dan kemahiran yang dimiliki oleh kelompok sasaran, serta peralatan dan keperluan yang dibutuhkan untuk mengembangkan media pembelajaran. Setelah semua kebutuhan

teridentifikasi, selanjutnya model ini menekankan untuk melakukan penilaian terhadap hasil identifikasi sebelum meneruskan ke fase desain.

Di dalam fase desain, informasi dari fase analisis dipindahkan ke bentuk dokumen yang akan menjadi tujuan pembuatan media pembelajaran.

Supriatna dan Mulyadi (2009:19) menyatakan bahwa fase desain bertujuan untuk mengidentifikasi dan mendokumentasikan kaedah yang paling baik untuk mencapai tujuan pembuatan media tersebut. Salah satu dokumen yang dihasilkan dalam fase ini ialah dokumen *story board*. Seperti halnya pada fase pertama, penilaian perlu dijalankan dalam fase ini sebelum dilanjutkan ke fase berikutnya.

Fase ketiga dari model Hannafin dan Peck adalah fase pengembangan dan implementasi. Aktivitas yang dilakukan pada fase ini ialah penghasilan diagram alur, pengujian, serta penilaian formatif dan penilaian sumatif.

Dokumen *story board* dijadikan landasan bagi pembuatan diagram alur yang dapat membantu proses pembuatan media pembelajaran. Untuk menilai kelancaran media yang dihasilkan seperti kesinambungan link, penilaian dan pengujian dilaksanakan pada fase ini. Hasil dari proses penilaian dan pengujian ini digunakan untuk memperbaiki media hingga mencapai kualitas media yang dikehendaki.

Berdasarkan ketiga fase dalam model Hannafin dan Peck serta dengan memadukan model-model desain pembelajaran yang tersebut di atas, maka peneliti menyusun langkah-langkah penelitian yang terdiri dari tujuh langkah seperti yang disusun oleh Suyanto dan Sartinem (2009:16) berikut ini:

- (1) Analisis kebutuhan
- (2) Identifikasi sumberdaya untuk memenuhi kebutuhan
- (3) Identifikasi spesifikasi produk yang diinginkan pengguna
- (4) Pengembangan produk
- (5) Uji internal: Uji spesifikasi dan Uji operasionalisasi produk
- (6) Uji eksternal: Uji kemanfaatan produk oleh pengguna
- (7) Produksi

Langkah-langkah penelitian tersebut sangat baik digunakan untuk mengembangkan media pembelajaran karena selalu meletakkan langkah revisi setelah tindakan uji dilakukan. Uji yang dilakukan pun bertahap sesuai dengan komponen yang diuji secara spesifik sehingga revisi lebih terarah. Dengan demikian dihasilkan produk pembelajaran yang efektif dan menarik.

## **B. Media Pembelajaran**

Media dapat diartikan sebagai suatu alat komunikasi yang digunakan untuk membawa informasi dari suatu sumber kepada penerima. Dalam hal pembelajaran, informasi yang dibawa berupa materi pelajaran yang disampaikan kepada peserta didik. Asyhar (2011:7) menuturkan sebagai berikut:

Media pembelajaran dapat dipahami sebagai segala sesuatu yang dapat menyampaikan atau menyalurkan pesan dari suatu sumber secara terencana, sehingga terjadi lingkungan belajar yang kondusif dimana penerimanya dapat melakukan proses belajar secara efisien dan efektif.

Susilana dan Riyana (2007:6) menyatakan:

Media pembelajaran selalu terdiri atas dua unsur penting, yaitu unsur peralatan atau perangkat keras (*hardware*) dan unsur pesan yang dibawanya (*message/software*). Dengan begitu, media pembelajaran memerlukan peralatan untuk menyajikan, namun yang terpenting bukanlah peralatan itu, tetapi pesan atau informasi belajar yang dibawakan oleh media tersebut.

Dari beberapa pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa media pembelajaran merupakan segala sesuatu yang dapat menyampaikan pesan atau informasi belajar dari suatu sumber secara terencana sehingga dapat mendorong terciptanya proses pembelajaran yang berkualitas.

Menurut penjelasan Degeng (1989:12), hasil pembelajaran merupakan salah satu variabel yang dapat menjadi acuan untuk mengetahui kualitas proses pembelajaran. Ia menjelaskan:

Hasil pembelajaran adalah semua efek yang dapat dijadikan sebagai indikator tentang nilai dari penggunaan suatu metode di bawah kondisi yang berbeda. Variabel hasil pembelajaran dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu: (1) Keefektifan, (2) Efisiensi, dan (3) Daya Tarik. Keefektifan pembelajaran biasanya diukur dengan tingkat pencapaian isi belajar. Efisiensi pembelajaran biasanya diukur dengan rasio antara keefektifan dan jumlah waktu yang dipakai si belajar atau jumlah biaya pembelajaran yang digunakan. Daya tarik pembelajaran biasanya diukur dengan mengamati kecenderungan siswa untuk tetap belajar. Ciri pembelajaran yang baik apabila pembelajaran tersebut efektif, artinya si belajar telah mencapai tujuan dari apa yang disampaikan oleh guru. Kemudian efisien, sudahkah waktu yang ditentukan mencukupi dalam penyampaian materi pembelajaran, dan apakah biaya yang diperlukan dalam pembelajaran tadi sesuai dengan apa yang telah direncanakan. Selanjutnya adakah pembelajaran yang disampaikan memiliki daya tarik tersendiri bagi siswa, apabila pembelajaran tersebut memberikan kesan kepada siswa dan siswa cenderung untuk mencinai pembelajaran itu, berarti kita telah berhasil dalam melaksanakan pembelajaran.

Kemudian untuk dapat meningkatkan kualitas proses pembelajaran, Sudrajat (2008:3) berpendapat bahwa media pembelajaran harus memiliki fungsi sebagai berikut:

1. Media pembelajaran dapat mengatasi keterbatasan pengalaman yang dimiliki oleh para peserta didik. Pengalaman tiap peserta didik berbeda tergantung dari faktor-faktor yang menentukan kekayaan pengalaman anak, seperti ketersediaan buku. Media pembelajaran dapat mengatasi perbedaan tersebut. Jika peserta didik tidak

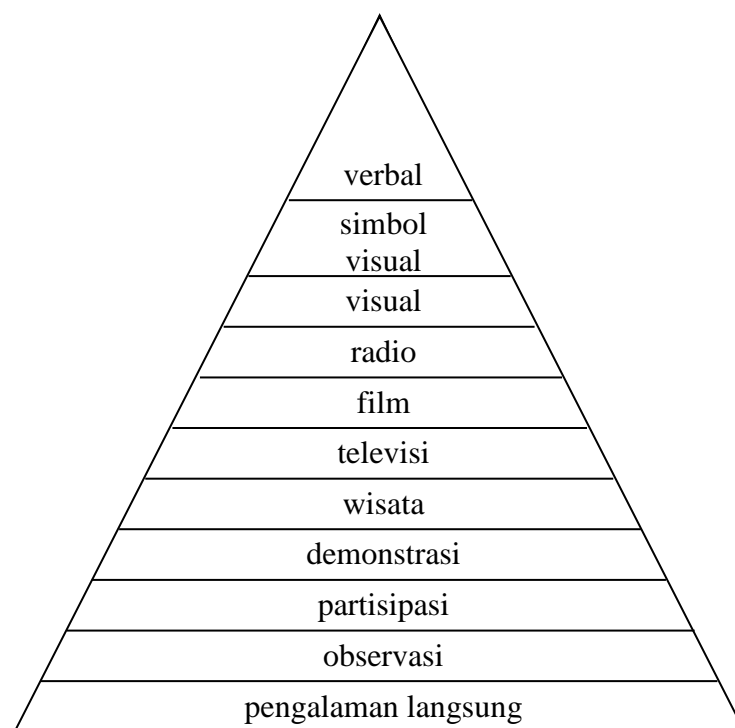
mungkin dibawa ke obyek langsung yang dipelajari, maka obyeknyalah yang dibawa ke peserta didik. Obyek yang dimaksud bisa dalam bentuk nyata, miniatur, model, maupun bentuk gambar-gambar yang dapat disajikan secara *audio visual*.

2. Media pembelajaran dapat melampaui batasan ruang kelas. Banyak hal yang tidak mungkin dialami secara langsung di dalam kelas oleh para peserta didik tentang suatu obyek, yang disebabkan karena: (a) obyek terlalu besar; (b) obyek terlalu kecil; (c) obyek yang bergerak terlalu lambat; (d) obyek yang bergerak terlalu cepat; (e) obyek yang terlalu kompleks; (f) obyek yang bunyinya terlalu halus; (f) obyek berbahaya dan beresiko tinggi. Melalui penggunaan media yang tepat, maka semua obyek itu dapat disajikan kepada peserta didik.
3. Media pembelajaran memungkinkan adanya interaksi langsung antara peserta didik dengan lingkungannya.
4. Media menghasilkan keseragaman pengamatan
5. Media dapat menanamkan konsep dasar yang benar, konkret, dan realistis.
6. Media membangkitkan keinginan dan minat baru.
7. Media membangkitkan motivasi dan merangsang anak untuk belajar.
8. Media memberikan pengalaman yang integral/menyeluruh dari yang konkret sampai dengan abstrak

Dengan demikian, media pembelajaran akan memiliki beberapa manfaat yaitu dapat memperjelas penyajian pesan informasi, dapat meningkatkan dan mengarahkan perhatian siswa sehingga menimbulkan motivasi belajar, interaksi secara langsung antara siswa dan lingkungannya, dan meningkatkan kemungkinan siswa untuk belajar sendiri sesuai dengan kemampuan dan minatnya tanpa kepasifan. Maka diharapkan proses pembelajaran dapat berjalan efektif sehingga hasil belajar dapat meningkat. Sejalan dengan perkembangan teknologi, penggunaan media pembelajaran baik yang bersifat visual, audial, *projected still media* maupun *projected motion media* bisa dilakukan secara bersama dan serempak melalui satu alat saja yang disebut multimedia. Contohnya dewasa ini penggunaan komputer tidak hanya bersifat *projected motion media*, namun dapat meramu semua jenis media yang bersifat interaktif.

Akan tetapi, dalam pemilihan dan penggunaan media perlu disesuaikan dengan tujuan pembelajaran atau kompetensi yang ingin dicapai. Di samping itu, terdapat kriteria lainnya yang bersifat melengkapi (komplementer), seperti: biaya, ketepatangunaan, keadaan peserta didik, ketersediaan, dan mutu teknis. Jadi karakteristik dan kemampuan masing-masing media perlu diperhatikan oleh guru mana yang sesuai dengan kondisi dan kebutuhan.

Dalam usaha memanfaatkan media sebagai alat bantu pembelajaran, Sadiman dkk. (2011: 8) mengklasifikasikan media dari tingkatan yang paling konkret ke tingkatan paling abstrak. Klasifikasi media yang berlandaskan pada “kerucut pengalaman Dale” (Gambar 2.1) ini dapat digunakan untuk mempermudah dalam menentukan alat bantu yang paling sesuai untuk pengalaman belajar.



Gambar 2.1. Kerucut Pengalaman Dale (Sadiman dkk., 2011: 8)



Berdasarkan gambar tersebut dapat kita lihat rentangan tingkat pengalaman dari yang bersifat langsung hingga ke pengalaman melalui simbol-simbol komunikasi, yang merentang dari yang bersifat konkret ke abstrak. Hal ini tentu memberikan implikasi tertentu terhadap pemilihan metode dan bahan pembelajaran, khususnya dalam pengembangan media pembelajaran. Kerucut pengalaman yang dikemukakan Edgar Dale tersebut memberi gambaran bahwa pengalaman belajar yang diperoleh siswa dapat melalui proses perbuatan atau mengalami sendiri apa yang dipelajari, proses mengamati dan mendengarkan melalui media tertentu dan proses mendengarkan melalui bahasa. Semakin konkret siswa mempelajari bahan pembelajaran, maka semakin banyak pengalaman yang diperoleh siswa. Sebaliknya, semakin abstrak siswa memperoleh pengalaman, maka semakin sedikit pengalaman yang diperoleh siswa.

Akan tetapi, media apapun yang dibuat perlu dinilai terlebih dahulu sebelum digunakan secara luas. Penilaian (evaluasi) ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah media yang dibuat tersebut dapat mencapai tujuan-tujuan yang telah ditetapkan atau tidak. Sadiman (2011: 182) menjelaskan tentang tahap-tahap evaluasi sebagai berikut:

Kegiatan evaluasi dalam program pengembangan media pendidikan akan dititikberatkan pada kegiatan evaluasi formatif. Ada tiga tahapan evaluasi formatif, yaitu evaluasi satu lawan satu (*one to one*), evaluasi kelompok kecil (*small group evaluation*), dan evaluasi lapangan (*field evaluation*). Pada tahap evaluasi satu lawan satu pilihlah dua siswa atau lebih yang dapat mewakili populasi target dari media yang dibuat. Kalau media itu didesain untuk belajar mandiri, biarkan siswa mempelajarinya, sementara Anda mengamatinya. Pada tahap evaluasi kelompok kecil, media perlu dicobakan kepada 10-20 orang siswa yang dapat mewakili populasi target. Sedangkan pada tahap evaluasi lapangan sebagai tahap akhir dari evaluasi, usahakan memperoleh

situasi yang semirip mungkin dengan situasi yang sebenarnya. Atas dasar tahapan ini, media dapat diperbaiki dan disempurnakan.

Berdasarkan ketiga tahapan tersebut, keefektifan dan kemenarikan media pembelajaran dapat dipastikan.

### **C. Media Pembelajaran Interaktif Berbasis TIK**

Komputer merupakan jenis media yang secara virtual dapat menyediakan respon yang segera terhadap hasil belajar yang dilakukan oleh siswa. Lebih dari itu, komputer memiliki kemampuan menyimpan dan memanipulasi informasi sesuai dengan kebutuhan. Perkembangan teknologi komputer yang pesat tersebut telah memungkinkan komputer memuat dan menayangkan beragam bentuk media pembelajaran yang disebut dengan komputerisasi pembelajaran. Sehingga berkembanglah berbagai prosedur pengembangan dan penerapan prinsip multimedia dalam pembelajaran dengan bantuan komputer, salah satunya adalah *Computer Assistance Instruction (CAI)*. Program pembelajaran CAI memiliki empat tipe, yaitu tipe tutorial, tipe simulasi, tipe permainan, dan tipe latihan. Penjelasan program CAI tipe tutorial menurut Darmawan (2012: 139) adalah sebagai berikut:

Tutorial secara definisi bahasa adalah pembelajaran khusus dengan instruktur yang terqualifikasi. Pembelajaran tutorial bertujuan untuk memberikan pemahaman secara tuntas kepada siswa mengenai materi atau bahan pelajaran yang sedang dipelajari. Terdapat beberapa hal yang menjadi identitas dari tutorial yaitu, (1) pengenalan, (2) penyajian informasi, (3) pertanyaan dan respons, (4) penilaian terhadap respons, (5) pemberian feedback tentang respons, (6) pembedaan, (7) segmen pengaturan pengajaran, dan (8) penutup. Komputer sebagai tutor berorientasi pada upaya dalam membangun perilaku siswa melalui penggunaan komputer. Secara sederhana pola-pola pengoperasiannya adalah sebagai berikut:

- a. Komputer menyajikan materi dengan petunjuk.

- b. Siswa memberikan respons terhadap soal-soal latihan.
- c. Respons siswa dievaluasi oleh komputer dengan orientasi siswa pada arah siswa dalam menempuh presentasi berikutnya.
- d. Melanjutkan atau mengulangi tahapan tutorial sebelumnya.

Program CAI tipe tutorial merupakan program pembelajaran yang digunakan dalam proses pembelajaran dengan menggunakan perangkat lunak berupa komputer yang berisi materi pelajaran. Program ini dapat digunakan secara individual yang dikemas dalam bentuk pembelajaran berprogram bentuk *branching* yaitu informasi disajikan dalam unit-unit kecil lalu diikuti dengan pertanyaan. Sistem-sistem komputer dapat menyampaikan pembelajaran secara langsung kepada siswa melalui interaksi antara sistem dengan siswa. Program ini juga menuntut siswa untuk mengaplikasikan ide dan pengetahuan yang dimilikinya secara langsung dalam kegiatan pembelajaran. Program pembelajaran ini dikembangkan dengan menggunakan perangkat lunak macromedia flash, swish max, director, articulate, dan sejenisnya. Perkembangan prosedur dan kemudahan membuat logika matematis selama pemrograman tutorial dengan program *macromedi flash* sangat memungkinkan tipe tutorial ini bisa dengan mudah diproduksi. Adapun tahapan pembelajaran dengan bantuan komputer tipe tutorial adalah sebagai berikut:

1. *Presentation of information* (Penyajian informasi)
2. *Question of responses* (Pertanyaan dan respons)
3. *Judging of responses* (Penilaian respons)
4. *Providing feedback about responses* (Pemberian umpan balik respons)
5. *Remediation* (Pengulangan)
6. *Sequencing lesson segment* (Segmen pengaturan pelajaran)

Pemilihan tipe tutorial dalam pembelajaran konsep dualisme gelombang partikel sangatlah tepat. Hal ini dikarenakan konsep dualisme gelombang partikel memuat informasi baru yang belum diketahui oleh siswa.

Sehingga dengan program tutorial ini siswa memiliki banyak kesempatan untuk mendapatkan informasi baru tersebut. Selain itu, komputer ditujukan sebagai pengganti manusia untuk menjelaskan konsep dalam bentuk teks, grafik, gambar, suara, video, animasi, dan simulasi. Hal ini sangat membantu mengingat fenomena-fenomena yang muncul dalam pembahasan dualisme gelombang partikel melibatkan benda-benda

atomik yang berukuran sangat kecil. Selain itu komputer juga menyediakan kuis, evaluasi jawaban, menyediakan umpan balik, dan menentukan aktivitas tindak lanjut yang sesuai sehingga siswa dapat berinteraksi secara aktif.

Keuntungan lain penggunaan komputer dalam pembelajaran menurut Suryadi (2007: 92) adalah:

Penggunaan komputer mampu mempermudah dan mempercepat kerja siswa serta menimbulkan rasa senang karena siswa berinteraksi dengan warna-warna, gambar, suara, video, dan sesuatu yang instan. Situasi dan kondisi yang menyenangkan ini menjadi faktor yang sangat penting untuk mencapai efektivitas belajar. Dalam hal ini teknologi mampu membangkitkan emosi positif dalam proses belajar.

Salah satu ciri pembelajaran yang baik adalah jika media yang digunakan dapat bersifat interaktif. Pembelajaran interaktif adalah pembelajaran dimana didalamnya terjadi interaksi baik antara siswa dan guru ataupun siswa dan media/sumber belajar yang digunakan untuk mencapai indikator pembelajaran. Definisi tersebut didukung oleh pendapat Munir (2009:88) yaitu:

Dalam proses pembelajaran interaktif, terjadi beberapa bentuk komunikasi, yaitu satu arah (*one ways communication*), dua arah (*two ways communication*), dan banyak arah (*multy ways communication*) berlangsung antara pengajar dan pembelajar. Pengajar menyampaikan materi pembelajaran dan pembelajar memberikan tanggapan (respon) terhadap materinya. Dalam pembelajaran interaktif pengajar berperan sebagai materi, menerima umpan balik dari pembelajar, dan memeberikan penguatan (*reinforcement*) terhadap hasil belajar yang dicapai pembelajar.

Mengenai makna pembelajaran interaktif, Sanjaya (2009: 172) menjelaskan:

Prinsip interaktif mengandung makna, bahwa mengajar bukan hanya sekedar menyampaikan pengetahuan dari guru ke siswa; akan tetapi mengajar dianggap sebagai proses mengatur lingkungan yang dapat merangsang siswa untuk belajar.

#### D. Teori Pemrosesan Informasi

Keterkaitan antara media pembelajaran berbasis TIK dengan teori belajar sangatlah erat seperti yang dijelaskan oleh Rusman dkk (2013: 35) berikut:

Pembelajaran berbasis TIK pada awalnya dilandasi teori behavioristik yang menyatakan bahwa belajar adalah tingkah laku yang dapat diamati disebabkan adanya stimulus dari luar. Selanjutnya perkembangan pembelajaran berbasis TIK dilandasi teori kognitif yang menyatakan bahwa belajar mencakup penggunaan daya ingat, motivasi dan pikiran, dan refleksi. Munculnya konstruktivisme pada awal abad 20-an mempunyai pandangan bahwa pengetahuan dan pemahaman tidaklah diperoleh secara pasif akan tetapi dengan cara yang aktif melalui pengalaman personal dan aktivitas eksperimental. Ketiga teori inilah yang mendasari pembelajaran berbasis TIK. Strategi behavioris dapat digunakan untuk mengajar “apa” (tentang fakta-fakta), strategi kognitif dapat digunakan untuk mengajar “bagaimana” (tentang proses dan prinsip-prinsip), dan strategi konstruktivis dapat digunakan untuk mengajar “mengapa” (tingkat berpikir yang lebih tinggi yang dapat mengangkat makna personal, keadaan, dan belajar kontekstual).

Meskipun media yang berbasis TIK berlandaskan pada tiga teori belajar sekaligus, akan tetapi dalam prosesnya teori pembelajaran kognitif memegang peranan yang besar. Teori pembelajaran kognitif mencakup penggunaan daya ingat dalam pembelajaran. Daya ingat dari siswa terhadap informasi yang disampaikan pada media pembelajaran sangat bergantung pada keinteraktifan media. Hal ini dapat dijelaskan menggunakan teori pemrosesan informasi (*information-processing theory*). Slavin (2008: 219-228) menjelaskan tentang teori pemrosesan informasi sebagai berikut:

Teori pemrosesan informasi merupakan teori pembelajaran kognitif yang menjelaskan pengolahan, penyimpanan, dan penarikan kembali pengetahuan dalam pikiran. Terdapat beberapa model pemrosesan informasi yang diterima, diantaranya model pemrosesan informasi Atkinson dan Shiffrin, model tingkat pemrosesan, model kode ganda, model pemrosesan sebaran paralel, dan model koneksionis. Model Atkinson dan Shiffrin menjelaskan informasi yang akan diingat harus terlebih dahulu menjangkau indera seseorang, kemudian diberi perhatian dan dipindahkan dari rekaman indera ke daya ingat jangka

pendek, kemudian dipindahkan sekali lagi ke daya ingat jangka panjang. Model tingkat pemrosesan menjelaskan tentang daya ingat yang mengaitkan ingatan akan rangsangan dengan jumlah pengolahan mental yang diterimanya. Model kode ganda berpendapat bahwa informasi yang dikodekan secara visual maupun verbal diingat dengan lebih baik daripada informasi yang dikodekan hanya dalam salah satu dari kedua cara tersebut. Sedangkan model pemrosesan sebaran paralel merupakan suatu model yang didasarkan pada gagasan bahwa informasi diolah secara serempak dalam rekaman indera, daya ingat jangka pendek, dan daya ingat jangka panjang. Untuk model koneksionis, beranggapan bahwa pengetahuan disimpan dalam otak dalam jaringan koneksi bukan dalam sistem aturan atau dalam masing-masing informasi.

Dari penjelasan tersebut, informasi yang diterima oleh siswa dari media pembelajaran sebagian langsung dibuang, sebagian ditahan dalam ingatan dalam waktu yang singkat, dan sebagian informasi mampu dipertahankan jauh lebih lama. Faktor keinteraktifan media pembelajaran berbasis TIK dapat memperpanjang ingatan siswa. Selain itu media pembelajaran berbasis TIK mampu menjadi alat bantu pembelajaran yang lengkap karena mampu memfasilitasi berbagai tipe gaya belajar siswa mulai dari tipe visual, tipe auditif, dan tipe kinestetik.

Berdasarkan studi pustaka tentang media pembelajaran interaktif berbasis TIK, dapat disimpulkan bahwa media pembelajaran interaktif berbasis TIK adalah media yang dikembangkan dengan memanfaatkan komputer dan berisi kombinasi dua atau lebih program yang dimanipulasi. Peneliti mengembangkan media pembelajaran bertipe tutorial dalam rangka menjelaskan konsep dualisme gelombang partikel secara lebih konkret. Dengan media ini, fenomena-fenomena kuantum yang abstrak akan dapat dipahami oleh siswa secara logis dan mudah diingat.

## E. Konsep Dualisme Gelombang Partikel

Konsep dualisme gelombang partikel merupakan salah satu konsep yang mendasari perkembangan fisika kuantum. Konsep ini terasa sangat abstrak karena segala sesuatu berkelakuan amat berbeda dengan dunia kita. Gribbin (2002: 4) menjelaskan bahwa:

Partikel berada di satu tempat pada suatu waktu. Gelombang, seperti gelombang bunyi menyebar di dalam ruang. Pada tingkatan atomik, perbedaan ini tidak berlaku. Elektron yang biasa dianggap sebagai partikel, dapat berlaku seperti gelombang. Demikian juga dengan cahaya, yang biasa dianggap muncul sebagai gelombang, sebagian kelakuannya hanya dapat dijelaskan apabila cahaya muncul dalam bentuk partikel, yang dikenal dengan foton. Sifat gelombang-partikel ini dikenal dengan “dualisme gelombang partikel” yang hanya dapat dijelaskan dengan fisika kuantum.

Berdasarkan struktur kurikulum 2013, pembelajaran mengenai fisika kuantum dibebankan pada siswa kelas XII yang termasuk materi akhir mata pelajaran fisika di tingkat SMA/MA. Oleh karena itu, banyak siswa yang telah terbiasa dengan ide bahwa cahaya menyebar dalam ruang dalam bentuk gelombang seperti gelombang air di permukaan telaga, sedangkan elektron berada di satu tempat pada suatu waktu dalam bentuk partikel. Hal ini dikarenakan siswa terlebih dahulu telah diajarkan tentang hukum-hukum Newton dan Maxwell yang ternyata kebenarannya berakhir di penghujung abad ke-19 dalam menjelaskan benda-benda berukuran atomik. Padahal menurut fisika kuantum tidaklah demikian. Untuk menganalogikannya Gribbin (2002: 24) mengatakan bahwa, “Perbedaan antara gelombang dan partikel dalam dunia sehari-hari diperlihatkan dengan peselancar (‘partikel’) pada lokasi tertentu yang berselancar pada gelombang yang menyebar.”

Dalam fisika kuantum, kita harus menyepakati bahwa benda-benda yang berukuran sangat kecil seperti elektron yang biasa kita anggap sebagai partikel, juga merambat seperti gelombang. Padahal, sifat kunci dari gelombang sangat berbeda dengan partikel, yaitu ketika gelombang melewati suatu lubang yang kecil maka akan terbelok ke samping dan menyebar. Proses ini biasa disebut difraksi gelombang. Jika demikian, maka dalam fisika kuantum elektron pun seharusnya dapat menunjukkan gejala difraksi. Namun, untuk membuktikannya dibutuhkan pemahaman tentang radiasi benda hitam sebagai pengantar dalam memahami konsep dualisme gelombang partikel.

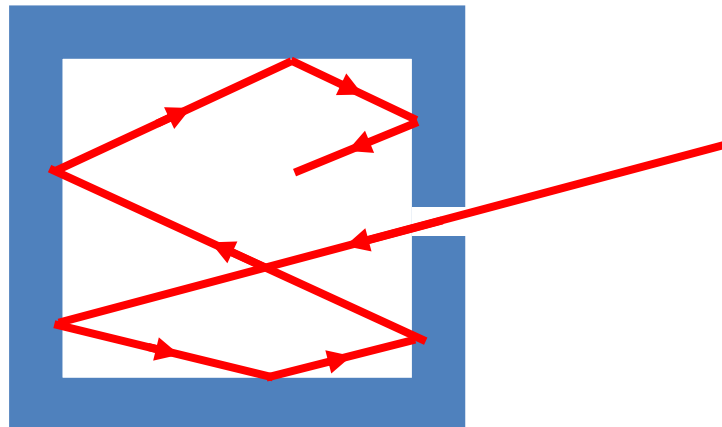
#### a) Radiasi Benda Hitam

Fenomena radiasi benda hitam memperoleh namanya melalui cara yang secara menarik terbalik. Dalam fisika klasik, benda hitam adalah benda yang menyerap semua radiasi elektromagnetik yang jatuh padanya. Akan tetapi, hukum-hukum yang dipatuhi dalam fisika klasik tidak dapat menjelaskan kelakuan alami cahaya yang dipancarkan oleh benda hitam yang panas. Pada awalnya, hal ini tampak hanya sebagai masalah kecil yang kelak diharapkan dapat dipecahkan, tetapi semakin dalam para fisikawan meneliti, justru permasalahannya tampak semakin besar.

Untuk memahami hal ini, mari kita bayangkan sebuah benda berongga yang memiliki sebuah lubang kecil (lihat Gambar 2.2) . Sembarang radiasi yang masuk ke lubang kecil ini akan dipantulkan dan diserap berkali-kali oleh dinding rongga dan tidak ada atau sangat sedikit radiasi yang keluar dari lubang kecil itu. Jadi seluruh radiasi yang masuk ke lubang kecil itu



diserap seperti halnya benda hitam. Banyak benda hitam di dalam eksperimen dibuat seperti ini.



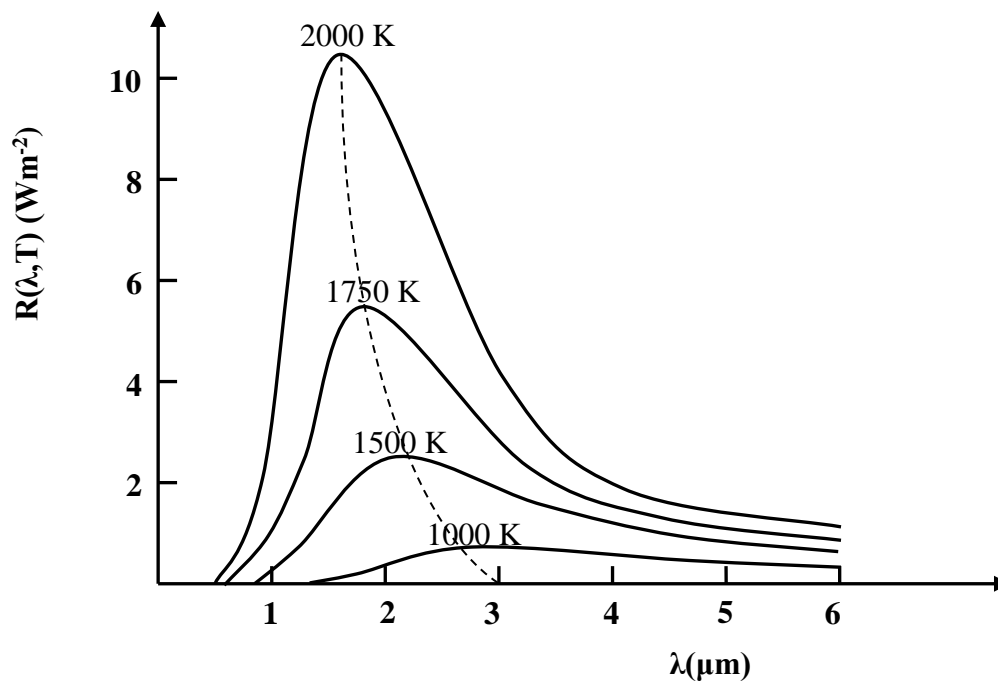
Gambar 2.2. Rongga dengan Satu Celah Kecil (Sudiarta, 2012:18)

Sekarang bayangkan benda tersebut dipanaskan sampai berkilauan, awalnya berwarna merah menyala, kemudian menjadi biru menyala. Sebagian dari radiasi di dalam rongga dapat keluar dari rongga melalui lubang kecil dan memancarkan radiasi termal. Karena lubang memiliki sifat benda hitam, maka spektrum yang dikeluarkan melalui lubang merupakan spektrum radiasi benda hitam atau disebut juga radiasi rongga. Warna cahaya yang dipancarkan terkait dengan panjang gelombangnya, ini berarti bahwa intensitas radiasi yang dipancarkan setiap panjang gelombang tergantung pada temperatur bendanya. Sehingga spektrum radiasi rongga ini merupakan karakteristik spektrum untuk benda dengan suhu tertentu.

Radiasi di dalam sebuah rongga dengan dinding pada temperatur  $T$  mempunyai karakteristik yang sama dengan radiasi yang dipancarkan oleh sebuah permukaan benda hitam. Fenomena tersebut ternyata dapat

teramati dalam kehidupan sehari-hari. Kita tahu bahwa sebuah obyek seperti radiator pemanas dapat meradiasikan inframerah tanpa terlihat menyala dan bahwa sepotong besi panas yang merah menyala lebih dingin daripada sepotong besi panas yang putih menyala. Banyak benda yang meradiasikan cahaya berkelakuan hampir sama seperti benda hitam, termasuk matahari. Dengan asumsi bahwa matahari adalah benda hitam yang memancarkan radiasi, maka akan dapat diketahui berapa temperatur dari permukaan matahari, yaitu dengan mengamati warna cahaya matahari yang dipancarkan. Hal ini tentu jauh lebih mudah dibandingkan dengan melakukan pengukuran langsung karena temperatur permukaan matahari sangatlah panas (sekitar 6000 K).

Sekitar tahun 1890-an, eksperimen telah menunjukkan secara pasti bagaimana radiasi benda hitam terkait dengan temperturnya. Ketika spektrum elektromagnet dari radiasi ini diplot sebagai grafik, tampak adanya puncak yang halus, seperti sebuah bukit. Pada temperatur yang sama, puncaknya selalu berada pada spektrum panjang gelombang yang sama. Tetapi ketika benda menjadi bertambah panas, puncaknya bergerak ke arah panjang gelombang yang lebih pendek yaitu dari inframerah, menuju merah, oranye, biru, dan seterusnya (lihat gambar 2.3). Hal ini merupakan suatu teka-teki sulit yang tidak dapat dijelaskan dengan fisika klasik.



Gambar 2.3. Spektrum Radiasi Benda Hitam (Sudiarta, 2012: 17)

Apabila gelombang elektromagnetik diperlakukan secara sama (dalam konteks matematis) seperti gelombang di laut atau seperti pada dawai biola, maka apabila energi panas diberikan padanya, menurut fisika klasik intensitas radiasi yang dihasilkan sebanding dengan frekuensi dari radiasi. Sehingga semakin tinggi frekuensi (yang berarti semakin pendek panjang gelombangnya), semakin besar radiasinya pada temperatur berapapun. Sebagian besar energi yang dipancarkan seharusnya berada di daerah ultraungu dan seharusnya tidak ada bukit dalam grafik tersebut. Namun kenyataannya tidaklah seperti itu. Kegagalan prediksi ini dikenal sebagai ‘bencana ultraungu’ yang menandai awal berakhirnya fisika klasik yang sebelumnya dianggap sebagai konsep lengkap penjelas bagi dunia fisis.

Dihadapkan pada fenomena yang tak terjelaskan ini, pada tahun 1900 seorang fisikawan Jerman yang bernama Max Planck (1858-1947), berusaha dengan keras memecahkan teka-teki benda hitam dengan mengasumsikan bahwa cahaya dapat dibagi menjadi paket-paket kecil yang dinamakan 'kuanta' dan tidak berkelakuan sebagai suatu gelombang kontinyu yang halus. Dalam rangka melaksanakan hal ini, dia menetapkan suatu energi ( $E$ ) kepada setiap kuantum yang terkait dengan frekuensinya ( $f$ ). Interpretasi ini dapat berhasil asalkan  $E = hf$ , dengan  $h$  adalah suatu konstanta matematis baru dalam alam, dan sekarang dikenal sebagai konstanta Planck untuk menghormati namanya. Teorinya berfungsi sebagai berikut (Gribbin, 2002: 16) :

Dalam sembarang benda, energi benda terdistribusi di antara atom-atomnya. Sebagian memiliki sedikit energi sebagian lainnya memiliki banyak energi, dan kebanyakan memiliki sejumlah energi pertengahan. Tetapi apa yang dimaksud dengan "pertengahan" berubah dengan meningkatnya temperatur. Setiap atom dapat memancarkan radiasi elektromagnetik dalam bentuk kuantum. Untuk frekuensi yang tinggi, energi yang dibutuhkan untuk memancarkan sebuah kuantum amatlah besar, dan hanya beberapa atom yang memiliki energi sebesar itu. Pada frekuensi rendah, lebih mudah untuk memancarkan kuantum karena energi yang diperlukan lebih sedikit. Tetapi setiap kuantumnya memiliki energi yang sangat kecil, bahkan jumlah energi semua kuantum ini tidak memberikan banyak kontribusi pada spektrum. Akan tetapi, di pertengahan terdapat banyak atom yang menghasilkan bukit pada kurva radiasi benda hitam. Segala sesuatunya ternyata sesuai dengan eksperimen, untuk suatu nilai  $h$  tertentu.

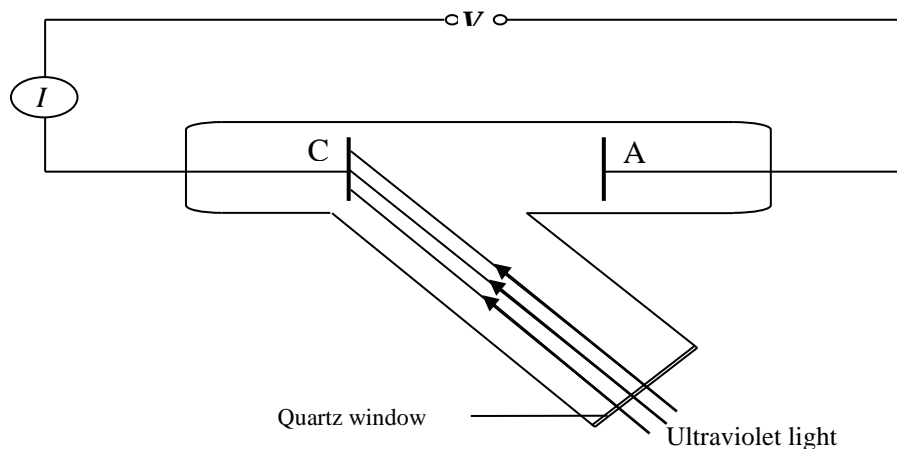
Berdasarkan penjelasan tersebut, terlihat bahwa Planck tidak memikirkan kuantum seperti partikel kecil, atau peluru yang dilepaskan atom. Dia hanya berpikir bahwa pasti ada suatu mekanisme internal dari atom-atom yang hanya membolehkan mereka memancarkan pulsa cahaya, tetapi cahaya yang dipancarkan masih tetap sebuah gelombang. Ini seperti bekerjanya

mesin ATM. Mesin yang hanya memberikan uang dalam pecahan 50.000 rupiah, walaupun jumlah uang lainnya seperti 75.000 rupiah juga ada.

#### b) Efek Fotolistrik

Hasil temuan Planck mengenai radiasi benda hitam ternyata hanya dipahami sebagai trik matematis semata oleh para fisikawan kala itu. Dan kebanyakan mereka menganggap bahwa akan ada pemahaman yang lebih baik dalam menjelaskan radiasi benda hitam jika pemahaman tentang atom telah berkembang. Pada awalnya, satu-satunya orang yang mengambil dan menggunakan interpretasi baru dari Planck ini secara apa adanya adalah Albert Einstein. Dia mampu menunjukkan fenomena yang membingungkan itu pada gejala yang dikenal sebagai efek fotolistrik.

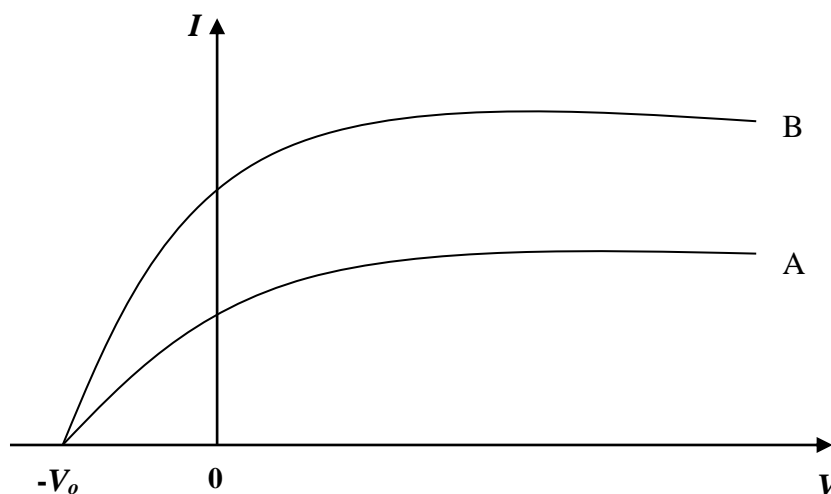
Perhatikan ilustrasi percobaan efek fotolistrik berikut:



Gambar 2.4. Ilustrasi Percobaan Fotolistrik (Sudiarta, 2012:25)

Dalam bentuk sederhananya, efek fotolistrik adalah peristiwa mengalirnya arus listrik pada suatu rangkaian listrik ketika disinari suatu cahaya pada suatu lempengan logam yang menyebabkan elektron-elektron di dalam logam bergerak keluar. Gejala keluarnya elektron dari lempeng logam

yang disebut katoda menuju lempeng lain yang disebut anoda, menyebabkan timbulnya arus listrik pada rangkaian. Hasil eksperimen fotolistrik menunjukkan hubungan antara tegangan  $V$  dan  $I$  seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Grafik Hubungan Arus Terhadap Tegangan pada Efek Fotolistrik (Sudiarta, 2012: 26)

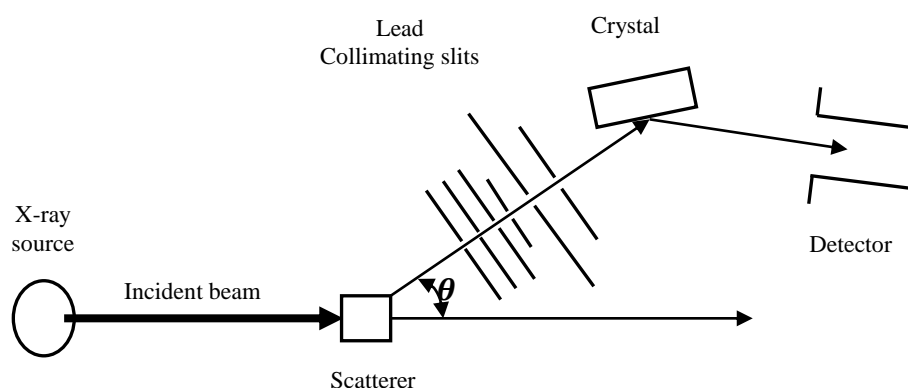
Ketika  $V$  bernilai positif, elektron ditarik menuju anoda. Ketika tegangan  $V$  dinaikkan, arus  $I$  meningkat sampai nilai saturasi pada tegangan yang cukup besar. Jika tegangan bernilai negatif, arus  $I$  tetap bisa teramati. Pada tegangan  $-V_0$  ditemukan arus menjadi nol yang mengindikasikan bahwa tidak ada lagi elektron yang diemisikan. Dari hasil ini diperoleh bahwa nilai maksimum kinetik energi adalah  $K_{\max} = eV_0$ .

Akan tetapi fenomena tersebut ternyata tidak dapat dijelaskan menggunakan fisika klasik. Hal tersebut hanya dapat dijelaskan dan dipahami apabila cahaya memang benar menjalar sebagai arus partikel-partikel kecil. Sehingga Einstein menjelaskan fenomena fotolistrik dengan

mempostulatkan bahwa cahaya tidak berupa gelombang tetapi berupa partikel “foton” dengan energi diskrit yang tergantung pada frekuensi cahaya sesuai yang ditemukan oleh Planck, yaitu  $E = hv$ . Karena energi pada foton seluruhnya ditransfer ke elektron, maka kinetik energi elektron ( $K$ ) ketika keluar dari plat logam sebesar  $K = hv - W$  dengan  $W$  adalah fungsi kerja dari plat logam.

### c) Sinar-X

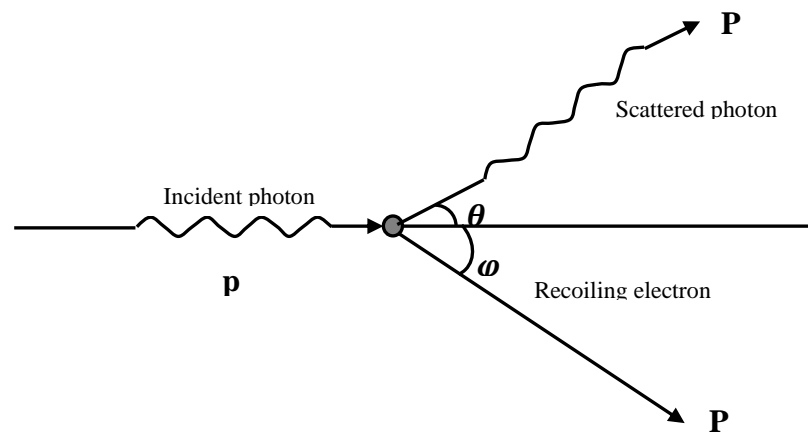
Efek fotolistrik merupakan bukti yang meyakinkan bahwa foton cahaya dapat mentransfer energi pada elektron. Selain itu ternyata proses sebaliknya juga dapat terjadi yang disebut dengan efek fotolistrik balik. Efek ini ditimbulkan oleh radiasi elektron yang menumbuk suatu bahan dan mengalami percepatan gerak. Radiasi yang dihasilkan ini disebut sinar-x. Salah satu sifat sinar-x ini dapat ditunjukkan melalui eksperimen yang pernah dilakukan oleh Compton (Gambar 2.6.).



Gambar 2.6. Percobaan Efek Compton (Sudiarta, 2012:28)

Pada eksperimen Compton, seberkas cahaya sinar-x dengan panjang gelombang tertentu disinarkan/ditembakkan pada sebuah target grafit dan kemudian intensitas sinar-x yang dihamburkan diukur sebagai fungsi

panjang gelombang. Walaupun sinar-x yang digunakan memiliki satu panjang gelombang, hamburan sinar-x mempunyai intensitas dengan puncak pada dua panjang gelombang, satu panjang gelombang yang sama dengan sinar-x yang digunakan dan satu lagi memiliki panjang gelombang yang lebih besar dengan pergeseran panjang gelombang ( $\Delta\lambda$ ).



Gambar 2.7. Sketsa Efek Compton (Sudiarta, 2012: 28)

Adanya fenomena puncak yang berbeda ini, ternyata tidak dapat dijelaskan menggunakan sifat radiasi yang berupa gelombang elektromagnetik. Ini karena, jika elektron dipengaruhi oleh gelombang elektromagnetik, elektron akan berosilasi dan memancarkan gelombang dengan frekuensi atau panjang gelombang yang sama. Compton dan juga Debye dapat menjelaskan pergeseran intensitas hamburan sinar-x ini jika cahaya bersifat seperti partikel. Dalam hal ini terjadi proses tumbukan antara foton dengan energi  $h\nu$  dan elektron bebas.

#### d) Gelombang de Broglie

Karena begitu banyaknya bukti-bukti yang telah terungkap, cahaya yang sebelumnya biasa dianggap sebagai gelombang, kini harus dianggap



sebagai gelombang dan juga sebagai partikel. Maurice de Broglie memberitahu saudaranya Louis de Broglie tentang fenomena cahaya yang bisa berperilaku seperti gelombang dan partikel. Pada awal tahun 1920-an, Louis de Broglie memunculkan gagasan bahwa elektron-elektron yang biasa dianggap sebagai partikel, harus juga dianggap sebagai gelombang dan partikel. Sifat dualisme ini merupakan simetri dari alam. Bahkan ia berkata bahwa segala sesuatu harus dianggap sebagai gelombang dan juga partikel, tetapi sifat kegelombangan yang terkait dengan benda-benda keseharian, seperti manusia atau pot tanaman, tidak tampak karena mereka memiliki massa yang besar. Gelombang EM atau cahaya dengan frekuensi  $\nu$  dan panjang gelombang  $\lambda$  memiliki sifat partikel dengan energi  $E = h\nu$  dan momentum  $p = h/\lambda$ . Konsep partikel berhubungan dengan kuantitas energi dan momentum, sedangkan konsep gelombang berhubungan dengan kuantitas panjang gelombang dan frekuensi. Dari persamaan tersebut materi juga mempunyai sifat gelombang dengan panjang gelombang de Broglie  $\lambda = h/p$ .

Dengan menggunakan hasil kerja Einstein tentang foton, sebuah persamaan dapat ditemukan yang menghubungkan sifat partikel dan gelombang dari cahaya. Persamaan itu menunjukkan bahwa panjang gelombang suatu foton dikalikan dengan momentumnya (sesuatu yang terkait dengan pergerakan benda) adalah sama dengan konstanta Planck, yang disingkat  $h$ . De Broglie menyadari bahwa persamaan itu benar secara universal, sehingga sebuah partikel seperti elektron (atau yang lainnya) yang memiliki momentum tertentu juga harus memiliki panjang

gelombang tertentu, yang dapat dihitung dengan persamaan ini. Persamaan gelombang yang menggambarkan entitas kuantum seperti itu sering disebut sebagai fungsi gelombang. Temuan de Broglie secara antusias didukung oleh Einstein, dan eksperimen yang mengukur panjang gelombang elektron dilakukan kemudian di tahun 1920-an. Ini menunjukkan bahwa segala sesuatu dalam realitas kuantum adalah gelombang dan juga partikel pada saat yang bersamaan.

Akan tetapi realitas kuantum terbatas pada dunia mikroskopis yaitu pada benda-benda yang amat kecil. Hal ini dikarenakan faktor konstanta Planck yang amat kecil. Dalam sistem satuan dimana massa diukur dalam gram, nilai dari  $h$  adalah  $6,6 \times 10^{-27}$  (suatu titik desimal yang diikuti dengan 26 angka nol dan dua angka enam). Karena persamaan de Broglie menyatakan bahwa panjang gelombang sebuah benda sama dengan bilangan amat kecil ini dibagi dengan momentumnya, dan momentum terkait dengan massa, maka panjang gelombang hanya akan terdeteksi untuk benda-benda dengan massa amat kecil. Secara meyakinkan, dalam sistem satuan yang sama massa dari elektron adalah  $9 \times 10^{-28}$  gram. Sehingga dalam dimensi ini segala sesuatunya menunjukkan adanya dualisme gelombang partikel.

#### e) Pola Difraksi Partikel

Seperti halnya sifat gelombang, dua fenomena yang sering diamati adalah difraksi dan interferensi. Eksperimen yang digunakan untuk menunjukkan adanya sifat gelombang pada partikel adalah dengan melakukan

eksperimen difraksi. Salah satu fisikawan besar abad ke-20, yaitu Richard Feynman, mulai meneliti teori ini dengan eksperimen celah ganda yang menunjukkan cahaya merambat sebagai gelombang. Ketika itu, hal ini masih menjadi “misteri utama” dari fisika modern. Tidak ada keraguan bahwa eksperimennya benar dan dapat digunakan untuk mengukur panjang gelombang cahaya. Dari eksperimen tersebut terbukti bahwa cahaya adalah gelombang.

Akan tetapi pada dekade-dekade awal abad ke-20, banyak eksperimen yang menunjukkan secara meyakinkan bahwa cahaya terdiri dari partikel-partikel yang disebut dengan foton. Kebanyakan dari eksperimen-eksperimen ini adalah hasil kerja dari Andrews Millikan yang menentang interpretasi Einstein mengenai efek fotolistrik dan berusaha membuktikan bahwa Einstein salah. Ironisnya, hasil kerja gemilangnya menunjukkan secara meyakinkan bahwa Einstein benar. Buktinya bahkan lebih meyakinkan seandainya dari awal Millikan berusaha untuk membuktikan kebenaran teori Einstein.

Hasil eksperimen celah ganda yang diyakini mampu menunjukkan bahwa cahaya adalah gelombang kemudian mulai dipertanyakan. Karena tidak ada dalam kehidupan keseharian kita yang dapat menunjukkan kesamaan antara partikel dan gelombang. Pada dasarnya, cara suatu kejadian terjadi dalam dunia kuantum amatlah berbeda dengan kejadian sehari-hari di sekitar kita. Dalam dunia kuantum kebenaran hanya dapat dinyatakan secara lengkap dalam bentuk persamaan-persamaan matematis yang

memungkinkan para fisikawan untuk meramalkan hal-hal seperti tingkat-tingkat energi elektron dalam atom atau intensitas pita-pita cahaya pada suatu pola difraksi.

Salah satu model yang dirasakan kebanyakan orang bermanfaat untuk membantu pemahaman ide-ide ini adalah dengan melibatkan konsep gelombang probabilitas. Bila Anda melempar batu pada sebuah dinding yang memiliki dua lubang, hasilnya adalah dua tumpukan batu, masing-masing satu di belakang setiap lubang. Anda tidak akan mendapatkan sesuatu seperti pola difraksi yang Anda lihat ketika gelombang melewati dua lubang. Tetapi bila “batunya” adalah foton-foton, dan lubangnya amat kecil, Anda akan mendapatkan pola difraksi. Seakan-akan ada gelombang yang terkait untuk setiap foton. Gelombang dari semua foton berinteraksi dan membentuk pola difraksi, yang dapat dipikirkan sebagai pola probabilitas yang berarti bahwa kemungkinan besar foton akhirnya akan berada di tempat dimana gelombang berinterferensi membentuk puncak maksimum pada pola difraksi, dan kecil kemungkinannya foton akhirnya berada di tempat di mana interferensi gelombang saling meniadakan. Akan tetapi, tidak ada cara untuk meramalkan terlebih dahulu, dimana akhirnya suatu foton akan berada. Hal ini cukup aneh ketika kita berpikir dalam konteks foton. Tetapi akan lebih aneh lagi ketika kita berpikir dalam konteks elektron.

Walaupun sebelum akhir tahun 1920-an para ahli telah sepakat bahwa elektron dapat berkelakuan seperti gelombang, tetapi keseluruhan drama

tentang dualisme gelombang partikel dan elemen probabilitas yang telah ditemukan dalam fisika kuantum baru “dibawa pulang” di tahun 1980-an oleh tim ilmuwan Jepang yang bekerja di laboratorium riset Hitachi.

Mereka melakukan eksperimen dengan elektron-elektron yang ditembakkan satu per satu melewati celah dari suatu peralatan khusus. Elektron-elektron itu kemudian terdeteksi pada suatu layar (seperti layar TV) pada sisi lain. Dan setiap elektron membentuk suatu titik ketika tiba di layar. Layar kemudian mengingat posisi titik itu, sehingga kemudian suatu gambar terbentuk setelah semakin banyak elektron mengenai layar.

Setiap elektron membuat satu titik, menunjukkan bahwa elektron adalah partikel. Setelah elektron-elektron yang ditembakkan bertambah banyak, titik-titik cahaya secara perlahan membentuk suatu pola yang jelas, yaitu pola difraksi dan bukan pola “tumpukan dua batu”. Elektron-elektron bahkan tidak merambat bersamaan dalam eksperimen, tetapi mereka tetap masih membentuk pola khas yang terkait dengan suatu gelombang yang melewati celah ganda. Seakan-akan setiap elektron mengetahui ke arah mana pendahulu-pendahulunya pergi, dan ke arah mana elektron-elektron berikutnya akan pergi, dan juga dapat mengetahui tempatnya sendiri dalam pola. Tidak ada yang dapat menunjukkan keanehan dunia kuantum kepada para non-ilmuwan sejelas eksperimen ini.

Tentu saja elektron tidak mengetahui apa pun. Para ilmuwan menganggap elektron berkelakuan mengikuti aturan kebolehjadian sebagaimana sebuah dadu tidak mengetahui angka apa yang telah muncul sebelumnya dan

angka apa yang akan muncul berikutnya. Peran probabilitas ini sangat mendasar dalam fisika kuantum. Interpretasi ini mengatakan bahwa suatu sistem kuantum tidak berada dalam keadaan yang pasti sampai dilakukan pengukuran padanya. Sebagai contoh, sebuah elektron yang merambat melewati celah ganda berkelakuan sebagaimana gelombang yang menyebar, dan tidak memiliki lokasi yang pasti dalam ruangan. Hanya ketika elektron tiba pada layar detektor, dia akan memilih dari probabilitas (seperti sebuah dadu yang hampir jatuh) yang menyebabkan fungsi gelombangnya runtuh seperti yang dikatakan Bohr, yaitu jatuh pada satu titik. Dengan model ini, benda kuantum menjalar sebagai gelombang, tetapi tiba sebagai partikel.