

**LAPORAN AKHIR PENELITIAN LANJUT
BIDANG ILMU**



**Desain Model Eksperimen Virtual Fisika Berbasis
Visual Basic Application**

Oleh:

Paken Pandiangan, S.Si., M.Si
(email: pakenp@ut.ac.id)

A. Arkundato, S.Si., M.Si
(email: a.arkundato@gmail.com)

**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS TERBUKA
2012**

**LEMBAR PENGESAHAN
USULAN PENELITIAN LANJUT BIDANG ILMU
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS TERBUKA**

1. Penelitian
 - a. Judu : Desain Model Eksperimen Virtual Fisika Berbasis Visual Basic Application
 - b. Bidang : Penelitian Keilmuan
 - c. Klasifikasi : Penelitian Lanjut
2. Ketua
 - a. Nama Peneliti : Paken Pandiangan, S.Si, M.Si
 - b. NIP : 19700820 199703 1 003
 - c. Pangkat/Gol : Pembina / IVa
 - d. Jabatan Akademik/Unit : Lektor Kepala/ UPBJJ-UT Batam
 - e. Fakultas Akademik : FKIP / Program Studi Pendidikan Fisika
3.
 - a. Jumlah Anggota Peneliti : 1 (Satu) orang
 - b. Nama Anggota/Unit : Artoto Arkundato, S.Si.,M.Si/ UPBJJ-UT Batam
 - c. Program Studi : Pendidikan Fisika
4. Lama Penelitian : 8 (delapan) bulan
5. Biaya Penelitian : Rp. 30.000.000,- (Tigapuluh Juta Rupiah)
6. Sumber Biaya : Universitas Terbuka
7. Pemanfaatan Hasil Penelitian
 - a. Seminar (nasional/regional)
 - b. Jurnal (UT, nas, inter)
 - c. Pengabdian masyarakat
 - d. Perbaikan bahan ajar

Mengetahui,
Kepala UPBJJ-UT Batam



Paken Pandiangan, S.Si, M.Si
NIP. 19700820 199703 1 003

Batam, 10 Desember 2012
Ketua Peneliti



Paken Pandiangan, S.Si, M.Si
NIP. 19700820 199703 1 003

Mengetahui,
Ketua LPPM-UT

Menyetujui,
Ka. Pusat Keilmuan

Drs. Agus Joko Purwanto, M.Si
NIP. 19660508 199203 1 003

Ir. Endang Nugraheni, M.Ed
NIP. 19570422 198503 2 001

DAFTAR ISI

	halaman
LEMBAR PENGESAHAN	1
DAFTAR ISI	2
Abstrak	3
I. PENDAHULUAN	4
1.1. Latar Belakang	4
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Visual Basic Application	7
2.2. Radiasi Benda Hitam	8
III. METODE PENELITIAN.....	10
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	13
4.1. Materi Dasar Excel VBA	13
4.2. Desain Simulasi Gerak jatuh Bebas	15
4.3. Desain Simulasi Gerak Peluru	20
4.4. Desain Simulasi Optik Geometri	26
4.5. Desain Simulasi Rangkaian RL	30
4.4. Desain Simulasi Radiasi Benda Hitam	33
V. KESIMPULAN DAN SARAN	35
4.1. Kesimpulan	35
4.2. Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN	37
ARTIKEL	40

Abstrak

Aplikasi Visual Basic Application (VBA) diterapkan untuk desain model virtual eksperimen Fisika yang interaktif dan inovatif. Penerapan VBA untuk kajian fisika ini memiliki kelebihan karena VBA dapat diakses dari aplikasi Ms Office Excel. Aplikasi Office dewasa ini telah digunakan secara sangat luas baik di perkantoran, di lembaga-lembaga pemerintah maupun swasta. Terutama aplikasi Office telah dipelajari secara luas di sekolah-sekolah baik oleh guru maupun siswa. Namun demikian sedikit users (guru dan siswa) aplikasi Excel menyadari bahwa VBA yang dapat diakses dari Excel dapat diterapkan di sekolah-sekolah untuk model pembelajaran Fisika (dry lab). Pada penelitian ini telah dirancang model pembelajaran inovatif-interaktif berbasis VBA untuk simulasi Fisika. Keuntungan dari model ini adalah program simulasi dapat digunakan untuk media pembelajaran *online* dan juga users tidak perlu melakukan instalasi program lain seperti Delphi, Matlab, maupun program lainnya yang tidak familiar.

Kata kunci: *Visual Basic Application*, program simulasi, *dry lab*.

I. PENDAHULUAN

: 1.1. Latar Belakang

Pengembangan bidang ilmu Fisika secara umum dapat dikelompokkan dalam tiga bidang, yaitu: 1) Eksperimen, 2) Teori, dan 3) Komputasi. Dalam hal ini Fisika Komputasi memegang peranan yang dapat dikatakan sangat penting, karena dapat mengatasi kendala-kendala yang dihadapi oleh dua bidang yang lain. Banyak persoalan eksperimen yang tidak dapat dilakukan karena secara fisis memang sangat sulit dilakukan, misalnya eksperimen di dalam sebuah reaktor nuklir yang sedang bekerja. Disamping itu, ada juga kendala pembuatan instalasi dan peralatan eksperimen sering memerlukan biaya yang sangat mahal. Dengan metode-metode komputasi, maka banyak topik-topik eksperimen yang dapat disimulasikan secara *virtual* di layar komputer. Demikian juga kendala perhitungan matematis sering dijumpai dalam bidang fisika teori. Sering sebuah formulasi matematis sangat sulit memperoleh solusi analitik dan harus memerlukan pendekatan numeris. Untuk mendapatkan jawaban atas persoalan fisika yang dihadapi dilakukan dengan menggunakan metode-metode komputasi terutama pada perkembangan fisika dewasa ini. Untuk meningkatkan kemampuan komputasi dalam memecahkan persoalan fisika pada saat ini sangat mutlak untuk sebuah laboratorium Fisika Komputasi dengan cara mengembangkan komputasi parallel untuk menangani sistem skala besar (*large scale computation*). Bagi negara-negara maju, mereka dapat membangun superkomputer. Namun untuk negara berkembang dapat dilakukan dengan mengembangkan dan membangun komputasi parallel. Berbagai fasilitas komputasi parallel bahkan sudah dikembangkan dengan menggunakan 500-1500 komputer PC, seperti fasilitas komputer Cresco ENEA di Roma Italia yang menggunakan sekitar 500 PC. Bagaimana di Indonesia? Di beberapa institusi seperti di BATAN dan Teknik Fisika ITB dan juga Fisika ITB sudah mencoba mengembangkan kurang dari 50 PC. Contoh penggunaan Fisika Komputasi untuk memecahkan persoalan fisika adalah misalnya; desain reaktor nuklir, pengembangan material nano, desain aerodinamika pesawat udara, dan lain sebagainya.

Dengan demikian pentingnya Fisika Komputasi dalam perkembangan ilmu dan teknologi, maka perlu diupayakan secara serius pengembangan Fisika Komputasi terutama materi-materi yang memerlukan eksperimen. Adanya metode ini, tentu sangat diharapkan dosen maupun mahasiswa akan dapat lebih mudah menguasai konsep dan substansi materi fisika yang bersifat kompleks.

Dari penelusuran lapangan yang dilakukan maka terlihat bahwa pemahaman dosen maupun mahasiswa belum begitu baik dan komprehensif terhadap materi-materi yang relatif sulit (Artoto

Arkundato & Paken Pandiangan, 2011). Oleh karena itu, perlu upaya-upaya yang lebih serius untuk merancang dan mendisain eksperimen fisika komputasi, misalnya berbasis *Visual Basic Application* (VBA). Melalui model eksperimen virtual ini akan semakin memperkuat pemahaman konsep fisika baik dosen maupun mahasiswa dan secara bersamaan dapat memperkuat kemampuan metode komputasinya. Demikian juga agar dosen maupun mahasiswa dapat belajar tanpa dibatasi ruang dan waktu, maka hasil rancangan VBA ini nantinya akan dibuat berbasis web sehingga dapat digunakan sebagai *Dry Laboratory* (Dry Lab).

Mengapa perlu menggunakan pemrograman VBA? Pemrograman VBA adalah pemrograman *visual basic* yang terintegrasi dengan pemrograman Windows Excel. Setiap komputer yang digunakan diberbagai institusi, lembaga, atau yang lain hampir semuanya menggunakan sistem operasi Windows dengan fasilitas Microsoft office juga dilakukan instalasi. Dalam hal ini Office Excel juga biasanya telah ikut serta di-install ke dalamnya yang nantinya dapat digunakan untuk melakukan perhitungan-perhitungan baik yang sederhana maupun yang rumit. Namun demikian seberapa banyak dari pengguna Excel yang menyadari bahwa dalam Excel sudah tersedia fasilitas VBA? Khususnya pada berbagai laboratorium komputer di sekolah maka sebenarnya penggunaan VBA ini untuk mendukung kegiatan Dry Lab yang kreatif sebenarnya dapat dikembangkan dan dioptimalkan. Melalui program VBA ini dapat merancang pemrograman komputer untuk melakukan simulasi peristiwa-peristiwa fisika seperti gerak peluru, peluruhan, gelombang, optik dan materi lainnya yang membutuhkan eksperimen. Sehingga laboratorium komputer tidak hanya untuk melatih siswa paham cara menggunakan komputer namun lebih dari itu guru dan siswa dapat mengembangkan suatu kegiatan ekstrakurikuler pemrograman komputer untuk fenomena fisika, untuk menumbuhkan minat siswa pada matapelajar Fisika. Pada penelitian ini akan dikaji berbagai fenomena fisika yang cukup menarik, kemudian fenomena tersebut dicoba dipindahkan kedalam virtual lab menggunakan pemrograman VBA, sehingga program yang dibuat diharapkan dapat digunakan untuk alat bantu pembelajaran Fisika. Langkah-langkah pembuatan program VBA untuk simulasi Fisika yang dilaporkan dalam laporan penelitian ini diharapkan dapat menjadi sebuah prototipe bagi guru-guru Fisika bahkan siswa untuk mengembangkan sendiri pemrograman VBA untuk fenomena-fenomena fisis yang lain.

1.2. Rumusan Masalah

Untuk mencapai hasil riset seperti yang diharapkan maka penelitian disusun berdasarkan rumusan masalah berikut:

- 1) Topik fisika seperti apa yang dapat dijadikan model pengembangan simulasi fisika dengan VBA?
- 2) Metode numerik apa yang dapat digunakan untuk solusi numerik topik materi yang dipilih?
- 3) Bagaimana mendesain layar interaktif di Excel VBA, penataan tombol-tombol input dan output serta prosesnya?
- 4) Bagaimana mengembangkan pemrograman PHP dan MySQL agar dapat dibuat berbasis Web?

1.3. Tujuan Penelitian

Merancang simulasi komputasi berbasis VBA yang dapat digunakan sebagai laboratorium virtual berbasis web (Dry Lab).

1.4. Manfaat Penelitian

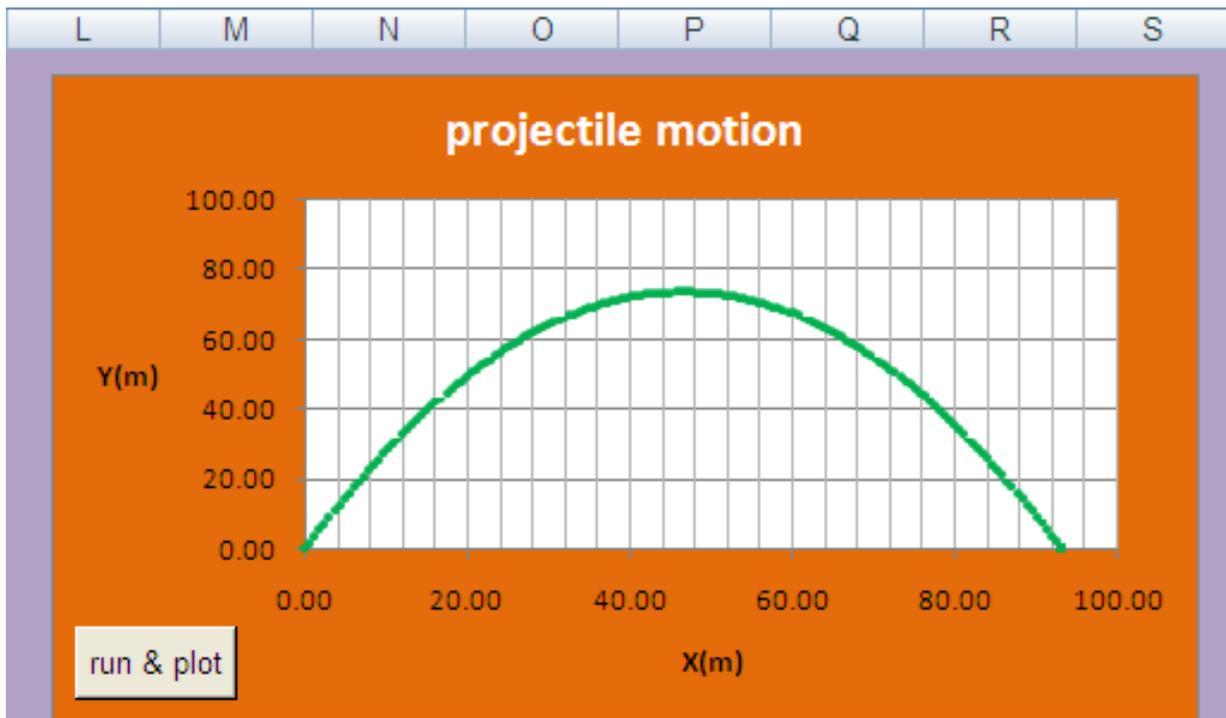
Hasil penelitian ini akan sangat bermanfaat baik bagi Institusi maupun bagi para mahasiswa dan dosen, yaitu:

- 1) Tersedianya Laboratorium Virtual berbasis VBA sehingga akan mengurangi biaya pembelian alat yang mahal.
- 2) Dapat memahami penggunaan VBA untuk berkreasi membuat simulasi fisika, sehingga dengan Excel yang tersedia tidak perlu lagi membeli dan menginstal bahasa pemrograman yang lain seperti Delphi, Pascal, Matlab dan yang lainnya.
- 3) Siswa umumnya sudah biasa dengan Excel sehingga VBA dapat mudah dipelajari dan digunakan dengan baik untuk komputasi fisika dengan visualisasi grafik yang baik, interaktif, dan menarik.
- 4) VBA berbasis web dapat diakses oleh mahasiswa dan dosen dimana dan kapan saja.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Visual Basic Application (VBA)

Visual Basic Application atau VBA adalah merupakan salah satu bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dapat digunakan untuk mengintegrasikan bahasa Visual Basic ke windows Excel. Jadi, dengan integrasi ini memudahkan pembuatan fasilitas-fasilitas perhitungan baru di dalam Excel sesuai dengan kebutuhan sendiri dan bahkan dapat digunakan untuk simulasi. Beberapa makalah yang terpublikasikan di journal telah membahas persoalan ini (Haibin Sun & Tingting Liu, 2010). Namun demikian, pengembangan yang lebih serius dan potensial untuk simulasi fisika masih relatif baru. Hal yang penting dari pemanfaatan VBA adalah dapat digunakan sebagai laboratorium virtual sehingga akan memudahkan pemahaman dosen maupun mahasiswa terhadap materi-materi yang sulit dan membutuhkan laboratorium dalam pembuktiannya. Salah satu langkah awal pemanfaatan VBA dengan Excel adalah satu paper yang telah diikut sertakan dalam Seminar Internasional ICDE tahun 2011 di Denpasar Bali (**Artoto Arkundato & Paken Pandiangan, 2011**).



Gambar II.1. Salah satu model simulasi awal untuk gerak peluru.

Topik ini dapat dikembangkan lebih lengkap misalnya dengan menambahkan efek ukuran obyek, efek hambatan udara, dan efek-efek sudut dan rotasi.

Fenomena gerak peluru di atas dapat diberikan oleh persamaan gerak Newton (Michael T. Vaughn, 2007):

$$x = x_0 + v_{0x} t = x_0 + v_0 \cos (q) t, \quad (2.1)$$

$$y = y_0 + v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2 = y_0 + v_0 \sin (q) t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (2.2)$$

Yang mempunyai solusi numerik

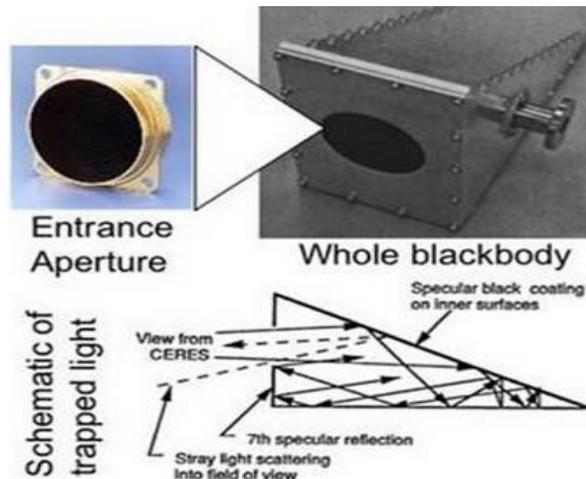
$$x(n+1) = x(n) + v_x(n)\Delta t + \frac{1}{2} a_x(n)(\Delta t)^2 \quad (2.3)$$

$$y(n+1) = y(n) + v_y(n)\Delta t + \frac{1}{2} a_y(n)(\Delta t)^2 \quad (2.4)$$

Pada riset ini dikembangkan topik-topik baru simulasi fisika dan juga akan diintegrasikan ke web yang nantinya dapat diakses oleh mahasiswa maupun dosen. Setiap masalah yang akan dibahas memerlukan solusi numerik khusus yang sesuai, sehingga observasi metode numerik sangat diperlukan.

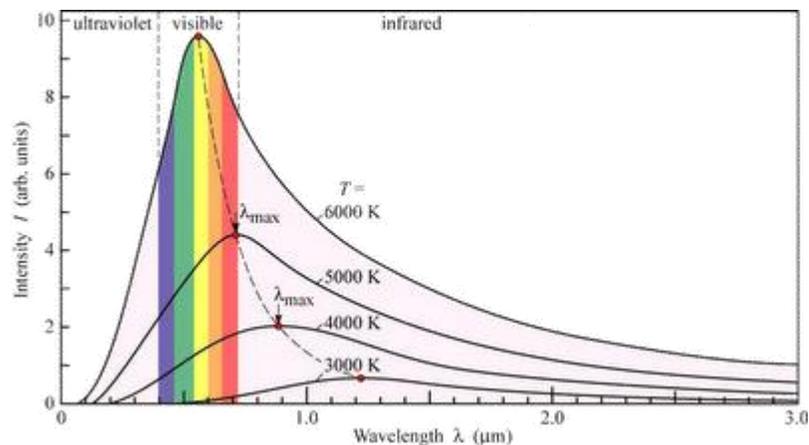
2.2. Radiasi Benda Hitam

Para ilmuwan fisika pada akhir abad ke-19 banyak yang percaya bahwa struktur teori fisika sudah cukup lengkap, namun cukup banyak juga yang menunjukkan bahwa hasil eksperimen tidak dapat dijelaskan oleh fisika klasik. Hal ini mengarahkan pada pengembangan teori kuantum dan teori relativitas. penjelasan struktur atom, dan spectrum atom harus didasarkan pada teori kuantum. Salah satu kelemahan fisika klasik adalah kesalahan memprediksi nilai C_v dari molekul poliatom melalui teori kinetik gas. Kelemahan kedua adalah ketidakmampuan fisika klasik dalam menjelaskan distribusi frekuensi energi radiasi benda hitam seperti ditunjukkan pada gambar berikut ini (Levine, Ira.N, 2009).



Gambar II.2. Eksperimen Radiasi Benda Hitam

Dalam eksperimen diperoleh bahwa setiap benda padat memancarkan radiasi dengan kecepatan yang berbeda untuk setiap benda pada suhu yang sama yang dapat dijelaskan melalui konsep radiasi benda hitam. Benda hitam adalah benda yang dapat menyerap semua gelombang elektromagnetik yang lahir dari gelombang hasil osilasi medan magnet dengan medan listrik yang memiliki frekuensi ν dan panjang gelombang λ dari gelombang elektromagnetik pada keadaan vakum yang dihubungkan dengan radiasi yang jatuh padanya. sebuah pendekatan untuk benda hitam ini adalah sebuah rongga dengan lubang yang sangat kecil. Hal ini dapat menunjukkan bahwa kecepatan pancaran radiasi persatuan luas permukaan benda hitam merupakan fungsi dari suhu dan tidak tergantung pada jenis bahan dasar yang membentuk benda hitam tersebut.



Gambar II.3. Intensitas Radiasi Benda Hitam

Reyleigh berhasil merumuskan persamaan teoritis untuk distribusi frekuensi ($R(\nu)$) pada tahun 1900, dengan menggunakan teori energi ekuipartisi dari fisika klasik, yaitu (**Zimmerman., R.L., 1995**):

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (5)$$

dimana $I(\nu, T)$ adalah jumlah energi per satuan luas permukaan, per satuan waktu, per satuan sudut padat, per satuan frekuensi, yang dipancarkan benda hitam pada frekuensi ν . Dimana, T adalah temperatur tubuh hitam, h adalah tetapan Planck, c adalah kecepatan cahaya, dan k adalah konstanta Boltzmann.

Hasil eksperimen dari persamaan (5) terlihat sangat ganjil karena rumus ini memprediksikan bahwa jumlah energi radiasi akan meningkat terus tanpa batas ketika ν meningkat. Namun, pada kenyataannya, $R(\nu)$ akan mencapai titik maksimum dan akan turun kembali menjadi nol pada waktu frekwensi ν bertambah. Melalui eksperimen ini fisika klasik gagal menjelaskan untuk memprediksi spektrum radiasi benda hitam. Pada tahun 1900, fisikawan Planck mengajukan formula baru untuk menjelaskan kurva radiasi benda hitam yang dikenal dengan formula Planck, yaitu (**Sadri Hassani, 2009**):

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (6)$$

Planck mengasumsikan bahwa dinding benda hitam mengandung muatan listrik yang berosilasi dan bervibrasi pada berbagai frekuensi. Untuk meurunkan persamaan distribusi frekuensi di atas, Planck menemukan bahwa osilasi muatan hanya mungkin dapat terjadi pada nilai diskrit $0, h\nu, 2h\nu, 3h\nu, \dots nh\nu$, dimana ν adalah frekuensi dari osilator dan h adalah tetapan Planck.

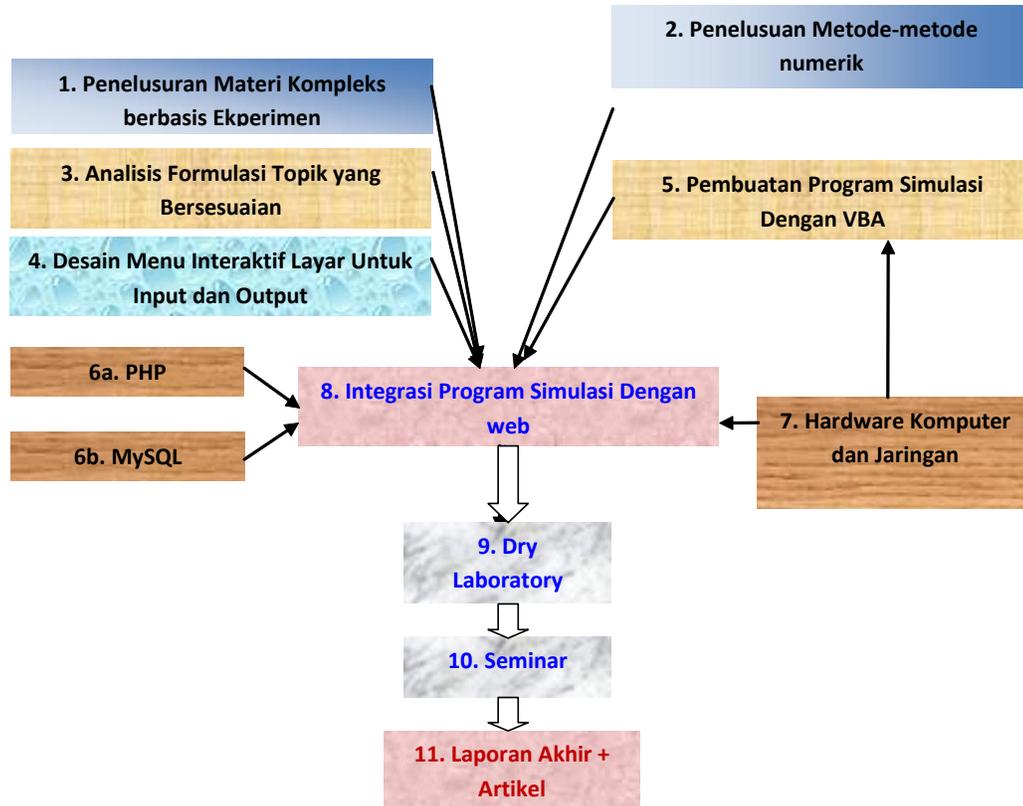
Sedangkan kita ketahui bahwa pada fisika klasik, energi bersifat kontinu dimana sebuah sistem dapat melepaskan atau menerima energi dengan jumlah berapapun. Hal ini bertentangan dengan teori fisika klasik. Oleh karena itu Planck membatasi jumlah energi pada masing-masing osilasi muatan sehingga akan dapat membatasi jumlah energi pada masing-masing osilator yang dapat melepas atau menerima aenergi sebesar integral $h\nu$. Planck menyebut jumlah $h\nu$ itu sebagai enegi kuantum yang terkuantisasi dan bersifat diskrit (**Levine, Ira. N, 2009**).

III. METODE PENELITIAN

Penelitian simulasi ini setiap tema kajian fenomena fisika akan dimodelkan dan rumusan matematis yang digunakan akan dipecahkan menggunakan **METODE NUMERIK** kemudian realisasi perhitungan dan animasinya menggunakan **Pemrograman VBA**, yang tahap-tahap kegiatannya dapat disusun seperti langkah-langkah berikut ini (**Haibin Sun & Tingting Liu, 2010**):

- 1. Penelusuran tema-tema fenomena fisika menarik berbasis eksperimen:** Sebagai prariset untuk mempersiapkan materi-materi kompleks terkini yang dapat dijadikan sebagai contoh simulasi.
- 2. Penelusuran metode numerik:** Menurut metode-metode numerik yang akan digunakan dalam pembuatan program simulasi: persamaan diferensial, bilangan random, akar persamaan, solusi matriks dan lain sebagainya.
- 3. Analisis formulasi topik:** Dipilih topik-topik fisika yang relevan untuk dikembangkan dalam riset ini. Salah satu yang akan dimasukkan adalah model gerak peluru interaktif, optik, gelombang.
- 4. Desain interaktif:** Model input dan output simulasi harus diatur sedemikian informatif, menarik dan luwes.
- 5. Desain program:** Bagian terpenting dari riset ini adalah desain program simulasi fisika berbasis VBA. Jadi dari konsep fisika yang ada lalu diperoleh formulasi matematikanya kemudian dicari solusi numeriknya dan direalisasikan fenomenanya dalam bentuk program simulasi VBA.
- 6. Hardware:** Pada riset ini diperlukan dukungan perangkat komputer dan jaringan komputer/internet.
- 7. Integrasi Program Simulasi Dengan web:** Hasil Program Simulasi VBA akan diintegrasikan di website Universitas Terbuka. Hasil keseluruhan penelitian ini akan dijadikan sebagai Laboratorium Virtual yang nantinya disediakan di website UT yang dapat diakses oleh mahasiswa maupun dosen.

Secara ringkas Penelitian ini akan didesain seperti Diagram Alir berikut ini:



Gambar III.1 Diagram alir kegiatan penelitian

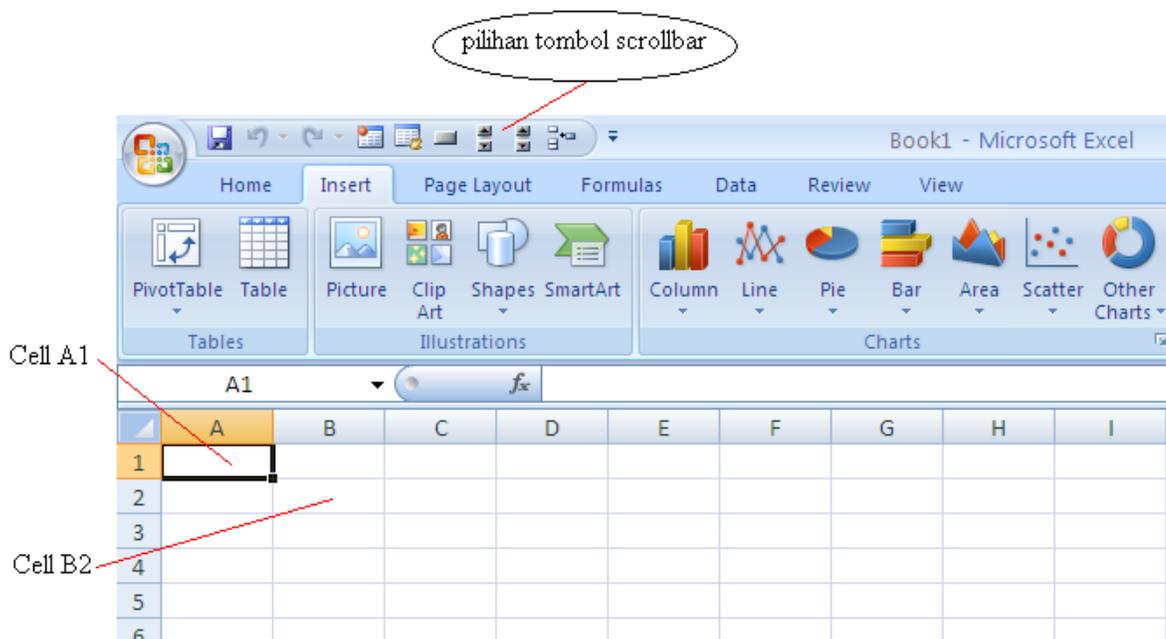
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan evaluasi dan analisis mengenai topik-topik Fisika yang akan dikembangkan pada penelitian ini maka beberapa topik yang akan dikembangkan adalah Desain Simulasi: Gerak jatuh Bebas, Gerak Peluru, Optika Geometri, Rangkaian RL, dan Hukum Planck.

4.1 Materi Dasar Excel VBA: Membuat Scroll Bar

Salah satu bagian pekerjaan membuat simulasi Excel VBA yang sangat penting adalah membuat tombol Scroll Bar yang akan digunakan untuk menampilkan layar interaktif. Sebagai contoh awal adalah bagaimana membuat tombol scrollbar untuk suatu variabel sembarang X yang nilainya dapat diubah dengan menekan-geser (push and drag) tombol scrollbar. Langkah-langkah yang dapat dilakukan adalah (**Ivan Dimov Stefka Dimova, Natalia Kolkovska, 2010**):

1. Membuat lembar worksheet baru untuk Excel sehingga seperti pada gambar berikut ini:

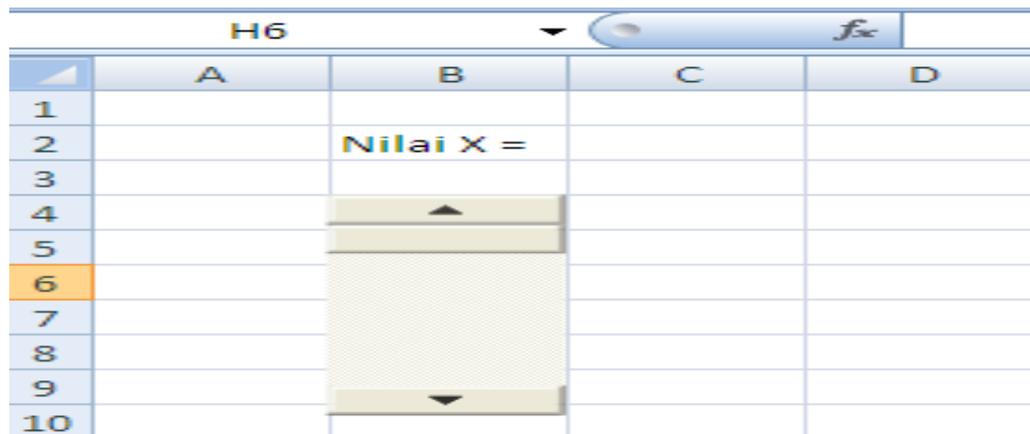


Gambar IV.1 Layar Worksheet Excel. Kotak-kotak adalah Cell-Cell dari Excel

2. Kemudian menuliskan keterangan di Cell B2: Nilai X =
3. Selanjutnya menggerakkan kursor ke tempat menu-menu Excel pada bagian atas layar

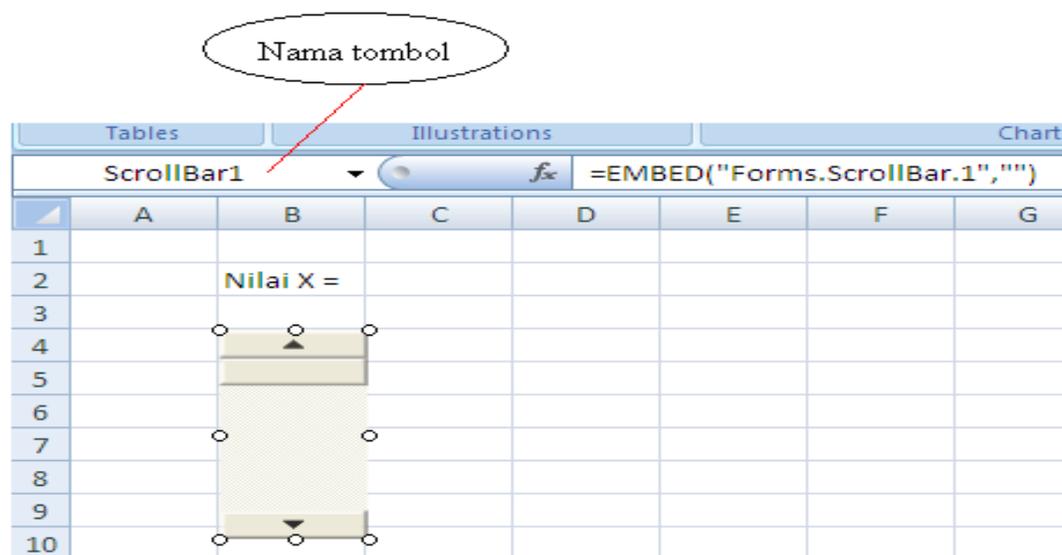
Excel lalu mencari tombol scrollbar berbentuk , KLIK kiri MOUSE dan dilepaskan. Kemudian mengarahkan kursor yang ada di bawah Cell B2 lalu KLIK kiri lagi MOUSE lalu MOUSE digeret ke arah bawah sehingga tercipta gambar tombol scrollbar

seperti berikut:



Gambar IV.2. Scrollbar

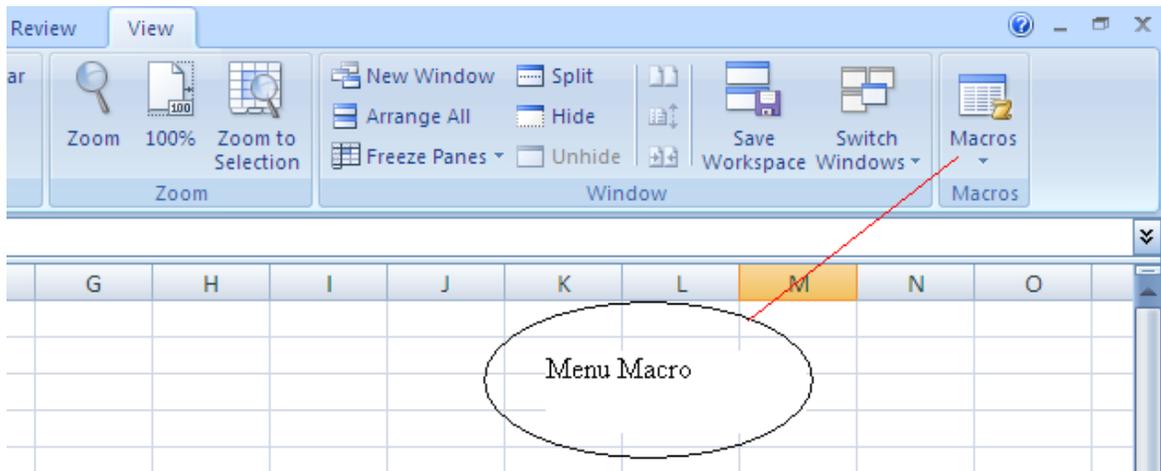
4. Selanjutnya mengarahkan kursor ke atas gambar tombol tersebut, lalu meng KLIK kiri tombol MOUSE.



Gambar IV.3 Nama scrollbar

Tombol scrollbar yang dibuat secara otomatis dinamai ScrollBar1 yang dapat dilihat pada keterangan di pojok kiri atas layar Excel.

5. Selanjutnya pada Cell C2 diisi dengan input berdasarkan tombol naik-turun ScrollBar1 dengan cara mengetik di Cell C2 tulisan berikut: = ScrolBar1
6. **Selanjutnya** menggeser ke Menu Macro yang dapat dipilih dengan meng KLIK icon Macro yang ada pada menu bagian kanan Excel:



Gambar IV.4. Menu Macro

7. Selanjutnya setelah kursor berada di atas icon menu Macros KLIK kiri lalu memilih VIEW Macro dengan cara mengKLIK kiri tombol MOUSE dan segera melakukan Klik tombol RUN yang muncul dan dengan demikian kita sudah mendapatkan tombol ScrolBar yang siap diaktifkan dengan cara menggeser naik turun untuk merubah nilai yang ada pada Cell C2, seperti gambar berikut.

	A	B	C	D
1				
2		Nilai X =	8191	
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Gambar IV.5. Tampilan Cell C2 yang nilainya dapat diubah dengan menggeser scrolbar

4.2. Desain Simulasi Gerak Jatuh Bebas

Sebagai aplikasi sederhana VBA untuk simulasi fisika maka diambil tema Gerak Jatuh Bebas yang merupakan kajian fisika mekanika yang diajarkan pada tahun-tahun awal perkuliahan. Gerak jatuh bebas tanpa hambatan udara mempunyai rumusan berikut (<http://www.phys.virginia.edu/classes/581/>).

Misalkan sebuah batu dijatuhkan dari puncak menara dengan ketinggian tertentu H . Selanjutnya jika percepatan gravitasi bumi adalah g , ketinggian batu dari permukaan bumi tepat setelah bola jatuh bebas adalah x , dan kecepatan jatuh batu adalah v maka berlaku (**Michael T. Vaughn, 2007**):

$$F = ma = m \frac{dv}{dt} = mg \quad (4.1)$$

Selanjutnya,

$$dv = g \cdot dt \quad (4.2)$$

Dalam simulasi sering sebuah integrasi dilakukan secara diskretisasi, sehingga bentuk numerik dari pers.(4.2) adalah:

$$\Delta v = g \cdot \Delta t \quad (4.3)$$

Atau

$$(v_2 - v_1) = g \cdot (t_2 - t_1) \quad (4.4)$$

Atau

$$v_2 = v_1 + g(t_2 - t_1) \quad (4.5)$$

Sedangkan untuk gerak dengan percepatan konstan kita boleh menggunakan rumusan bahwa jarak jatuh sama dengan interval waktu dikalikan rata-rata kecepatan benda sesudah dan sebelumnya, sehingga jarak seluruhnya yang ditempuh mulai dari titik awal adalah yaitu:

$$x = x_1 + \frac{1}{2}(v_1 + v_2) \cdot (t_2 - t_1) \quad (4.6)$$

Pada rumusan pers.(4.6) maka titik awal adalah pada ketinggian $x = H$ sehingga jika ingin mengetahui ketinggian T batu dari permukaan bumi selama batu bergerak adalah:

$$T = H - x \quad (4.7)$$

Sekarang kita realisasikan rumusan fisis di atas ke dalam lembar kerja Excel dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- (1) Kita tuliskan pada baris paling atas di layar Excel dengan judul percobaan kita, misalnya pada cell B1 kita tuliskan **Gerak Jatuh Bebas Oleh Pengaruh Gravitasi Bumi**.
- (2) Selanjutnya kita lihat variabel dan konstanta apa saja yang diperlukan dalam perhitungan, yaitu g , Δt , t , v , x . Selanjutnya kita harus menuliskan variabel-variabel ini dan tempat nilainya dalam Excel misalnya pada masing-masing Cell kita tuliskan:
 1. Cell B3 dituliskan $\Delta t =$, dan cell C3 untuk kolom isian input Δt .
 2. Cell B4 dituliskan $g =$, dan cell C4 untuk kolom isian input g .
 3. Cell B5 dituliskan Tinggi menara $H =$, dan cell C5 untuk kolom isian input H .

4. Cell B8 dituliskan waktu, dan cell B9 kebawah dalam satu kolom untuk hasil perhitungan waktu
5. Cell C8 dituliskan kecepatan v , dan cell C9 kebawah dalam satu kolom untuk hasil perhitungan kecepatan.
6. Cell D8 dituliskan jarak tempuh x , dan cell D9 kebawah dalam satu kolom untuk hasil perhitungan jarak.

Keterangan:

C9, B9,D9 adalah nilai-nilai awal, dimana untuk kasus gerak jatuh bebas adalah:

B9 = 0 (saat pertama kali mulai jatuh $t = \text{nol}$)

C9 = 0 (kecepatan awal jatuh bebas adalah $v = 0$)

D9 = 0 (untuk referensi titik nol adalah $x = 0$)

- (3) Untuk B10,B11,B12, ... dan C10,C11,C12, ... dan D10,D11,D12, ... dituliskan rumus-rumus seperti telah kita uraikan diatas yaitu:

Pada cell B10 di tuliskan = B9 + \$C\$3

Pada cell B11 di tuliskan = B10 + \$C\$3

Pada cell B12 di tuliskan = B11 + \$C\$3

Dan seterusnya ke bawah.

Pada cell C10 di tuliskan = C9 + \$C\$4*\$C\$3 sesuai dengan $v_2 = v_1 + g(t_2 - t_1)$

Pada cell C11 di tuliskan = C10 + \$C\$4*\$C\$3

Pada cell C12 di tuliskan = C11 + \$C\$4*\$C\$3

Dan seterusnya ke bawah.

Pada cell D10 di tuliskan = D9 + 0.5*(C10+C9)*\$C\$3 untuk $x = x_1 + \frac{1}{2}(v_1 + v_2).(t_2 - t_1)$

Pada cell D11 di tuliskan = D10 + 0.5*(C11+C10)*\$C\$3

Pada cell D12 di tuliskan = D10 + 0.5*(C11+C12)*\$C\$3, dan seterusnya.

Berapakah jumlah baris yang diperlukan untuk menggambarkan simulasi kita? Itu tergantung berapa lama kita ingin menampilkan simulasi. Misalnya jika $\Delta t = 0.1$ s maka untuk 10 s kita memerlukan $10/0.1 = 100$ baris !! Untuk mempermudah pemulisan kita, maka dapat digunakan fasilitas Excel dengan mengCOPY cell B10,C10,D10 kebawah sejumlah 99 baris.

- (4) Selanjutnya kita ingin mem-plot ketinggian batu terhadap waktu. Untuk itu pada cell F8 kita tuliskan **waktu** dan pada cell G8 kita tuliskan **ketinggian T** . Selanjutnya untuk cell F9, F10, F11, dst adalah diisikan berturut-turut = B9, = B10, = B11, dan seterusnya ke bawah. Untuk cell G9, G10, G11 berturut-turut diisikan dengan = \$C\$5 -D9, = \$C\$5 -D10, = \$C\$5 -D11 dan seterusnya.
- (5) Selanjutnya kita bisa tambahkan tombol scrollbar untuk mengubah nilai ketinggian misalnya. Dibuat tombol scrollbar seperti sudah diuraikan di atas, diletakkan dibawah baris 5. Setelah dibuat tombol scrollbar maka arahkan kursor ke tombol scrollbar lalu KLIK kanan dan pilih menu properties sehingga muncul isian berikut:

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a scrollbar and its Properties window. The spreadsheet is titled "Gerak Jatu" and contains data for time and velocity. The scrollbar is linked to cell C5. The Properties window shows various settings for the ScrollBar1 object.

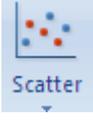
Row	A	B	C
1		Gerak Jatu	
2			
3		delta_t=	0.033
4		g=	9.8
5		Tinggi menara H=	100
6			
7			
8		waktu	kecepatan v
9		0	0
10		0.033	0.3234
11		0.066	0.6468
12		0.099	0.9702
13		0.132	1.2936
14		0.165	1.617
15		0.198	1.9404

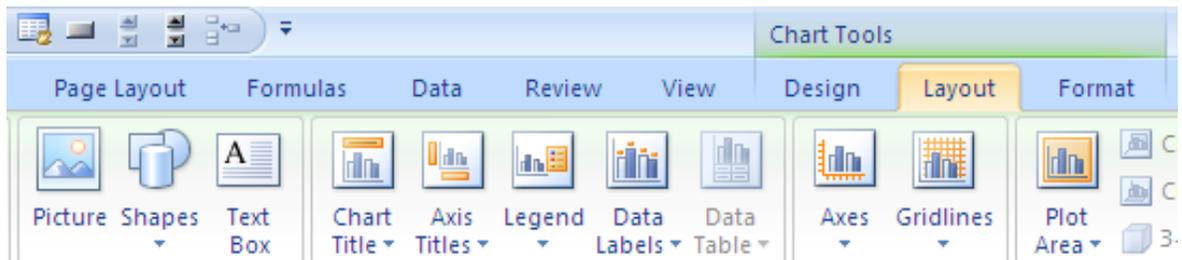
Properties	
ScrollBar1 ScrollBar	
Alphabetic Categorized	
(Name)	ScrollBar1
AutoLoad	False
BackColor	&H8000000
Delay	50
Enabled	True
ForeColor	&H8000001
Height	12.75
LargeChange	1
Left	123
LinkedCell	C5
Locked	True
Max	32767
Min	0
MouseIcon	(None)
MousePointer	0 - fmMousePoi
Orientation	-1 - fmOrientat
Placement	2
PrintObject	True
ProportionalThur	True
Shadow	False
SmallChange	1

Gambar IV.6. Menu Properties

Pada kolom isian LinkedCell diisi dengan C5 yang berarti hasil drag tombol scrollbar adalah merubah isian pada Cell C5. Kemudian Menu Macros di aktifkan seperti cara yang sudah diuraikan di atas.

- (6) Langkah terakhir adalah membuat grafik, dengan cara mem-blok kolom F9:G200,

kemudian pilih Menu Insert, pilih menu Scatter , pilih Menu  dan kemudian modifikasi grafik dengan fasilitas yang tersedia melalui menu Layout seperti di bawah ini:



Gambar IV.7. Menu Layout untuk grafik

Hasil-hasil desain simulasi gerak peluru adalah seperti gambar-gambar berikut:

Gerak Jatuh Bebas Dalam Medan Gravitasi Bumi						
	delta_t=	0.033	s			Paken Pandiangan
	g=	9.8	m/s ²			Artoto Arkundato
	Tinggi menara H=	1236	m			2012
	waktu	kecepatan v	jarak tempuh x		waktu	ketinggian T = H - x
	0	0	0		0	1236
	0.033	0.3234	0.0053361		0.033	1235.994664
	0.066	0.6468	0.0213444		0.066	1235.978656
	0.099	0.9702	0.0480249		0.099	1235.951975
	0.132	1.2936	0.0853776		0.132	1235.914622
	0.165	1.617	0.1334025		0.165	1235.866598
	0.198	1.9404	0.1920996		0.198	1235.8079

Grafik IV.8. Desain Cell-Cell untuk Gerak jatuh Bebas



Gambar IV.9. Chart untuk desain gerak jatuh bebas

4.3. Desain Simulasi Gerak Peluru

Gerak peluru (proyektil) adalah salah satu fenomena fisika yang menarik. Fenomena gerak peluru terjadi pada banyak peristiwa seperti gerak bola basket, gerak bola tenis, gerak peluncuran roket, gerak proyektil peluru yang ditembakkan, gerak peluru meriam dan sebagainya. Pada pengajaran fisika fenomena gerak peluru termasuk yang diajarkan pada bagian-bagian awal pelajaran, terkait dengan konsep gerak dan gaya.

Pada fisika gerak peluru, sebagai gambaran sederhana untuk gerak peluru meriam yang ditembakkan dari suatu tempat ke depan dengan sudut tertentu terhadap tanah datar maka berbagai penyederhanaan dapat dilakukan, seperti misalnya mengabaikan hambatan udara yang muncul karena sifat kekentalan fluida udara yang berbeda atau karena adanya angin yang bergerak dengan kecepatan yang cukup tinggi dengan arah yang berlawanan dengan arah gerak peluru. Dengan simulasi VBA maka faktor hambatan udara dapat dimunculkan dan solusi persamaan gerak yang dipecahkan secara numerik menjadi lebih mudah dilakukan, sementara gerak peluru yang terjadi dapat diikuti secara *real-time*.

4.3.1. Persamaan Gerak Peluru

Rumusan gerak peluru yang berhasil pertama kali dilakukan adalah berangkat dari pandangan Galileo Galilei bahwa gerak peluru seharusnya dipisah menjadi dua mode gerak horizontal dan gerak vertikal. Galileo berpendapat bahwa jika hambatan udara dapat diabaikan, maka gerak horizontal adalah gerak dengan kecepatan konstan sedangkan gerak vertical adalah gerak jatuh bebas. Sehingga, satu-satunya gaya yang bekerja pada peluru dengan massa m adalah gaya beratnya $w = mg$. Lintasan gerak peluru adalah berbentuk parabola pada bidang datar sehingga gerak proyektil adalah salah satu contoh dari gerak dalam 2D. Gerak proyektil juga salah satu contoh dari gerak dengan percepatan konstan dalam arah vertical yang diberikan oleh percepatan gravitasi bumi.

Dari pelajaran mekanika kita mengetahui bahwa untuk gerak peluru yang ditembakkan pada sudut θ dengan kecepatan awal v_i maka dalam perjalanannya gerak peluru dapat digambarkan dengan (A. Arkundato, et al, 2009):

$$x_f = x_i + v_{xi}t + \frac{1}{2}a_x t^2 \quad \text{dan} \quad v_{xf} = v_{xi} + a_x t \quad (4.8)$$

Dan

$$y_f = y_i + v_{yi}t + \frac{1}{2}a_y t^2 \quad \text{dan} \quad v_{yf} = v_{yi} + a_y t \quad (4.9)$$

Untuk gerak peluru tanpa hambatan udara maka kita dapat menuliskan:

$$a_y = -g \quad \text{dan} \quad a_x = 0 \quad (4.10)$$

Sehingga jika diambil pendekatan pada saat awal ($i = \text{initial}$) $t = 0$, $x_i = y_i = 0$, dan dengan memecah kecepatan menjadi komponen-komponenya dalam bentuk fungsi sudut:

$$v_{xi} = v_i \cos(\theta_i) \quad \text{dan} \quad v_{yi} = v_i \sin(\theta_i) \quad (4.11)$$

Maka kita mendapatkan relasi berikut:

$$x_f = v_{xi}t = v_i \cos(\theta)t \quad (4.12)$$

$$y_f = v_{yi}t + \frac{1}{2}a_y t^2 = (v_i \sin(\theta))t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (4.13)$$

Sebagai catatan dalam Excel fasilitas operator cos/sin dinyatakan dengan:

$$v_{xi} = v_i * \cos(\text{theta} * \text{PI}() / 180) \quad \text{dan} \quad v_{yi} = v_i * \sin(\text{theta} * \text{PI}() / 180). \quad (4.14)$$

4.3.2 Gerak Peluru dengan adanya hambatan udara

Sekarang jika diasumsikan ada hambatan udara (**air resistance**) yang besarnya proporsional dengan kuadrat kecepatan (tanda negatif, karena melawan arah gerak peluru) (Zimmerman., R.L, 1995):

$$D \approx bv^2, \quad (4.14)$$

Dengan b adalah koefisien hambatan udara, v adalah laju gerak peluru dengan $v^2 = v_x^2 + v_y^2$. Dalam hal ini b adalah konstanta drag hambatan udara, yang nilainya dapat didekati dengan:

$$b = \rho CA/2 \quad (4.15)$$

dengan ρ adalah rapat udara, A adalah tampang lintang peluru, dan C adalah koefisien drag. Nilai-nilai ini harus diukur secara eksperimen. Selanjutnya gaya hambatan udara adalah (tanda negatif untuk menunjukkan bahwa hambatan udara cenderung mengurangi laju gerak peluru):

$$\vec{f} = -Dv\vec{v} \quad (4.16)$$

Yang dapat dipisah menjadi komponen-x dan komponen-y:

$$f_x = -Dvv_x \quad \text{and} \quad f_y = -Dvv_y \quad (4.17)$$

Selanjutnya total gaya F yang dialami oleh peluru selama bergerak dalam udara dengan hambatan tertentu, adalah (**Halliday Resnick, 2009**):

$$\sum F_x = -Dvv_x = ma_x \quad \sum F_y = -mg - Dvv_y = ma_y \quad (4.18)$$

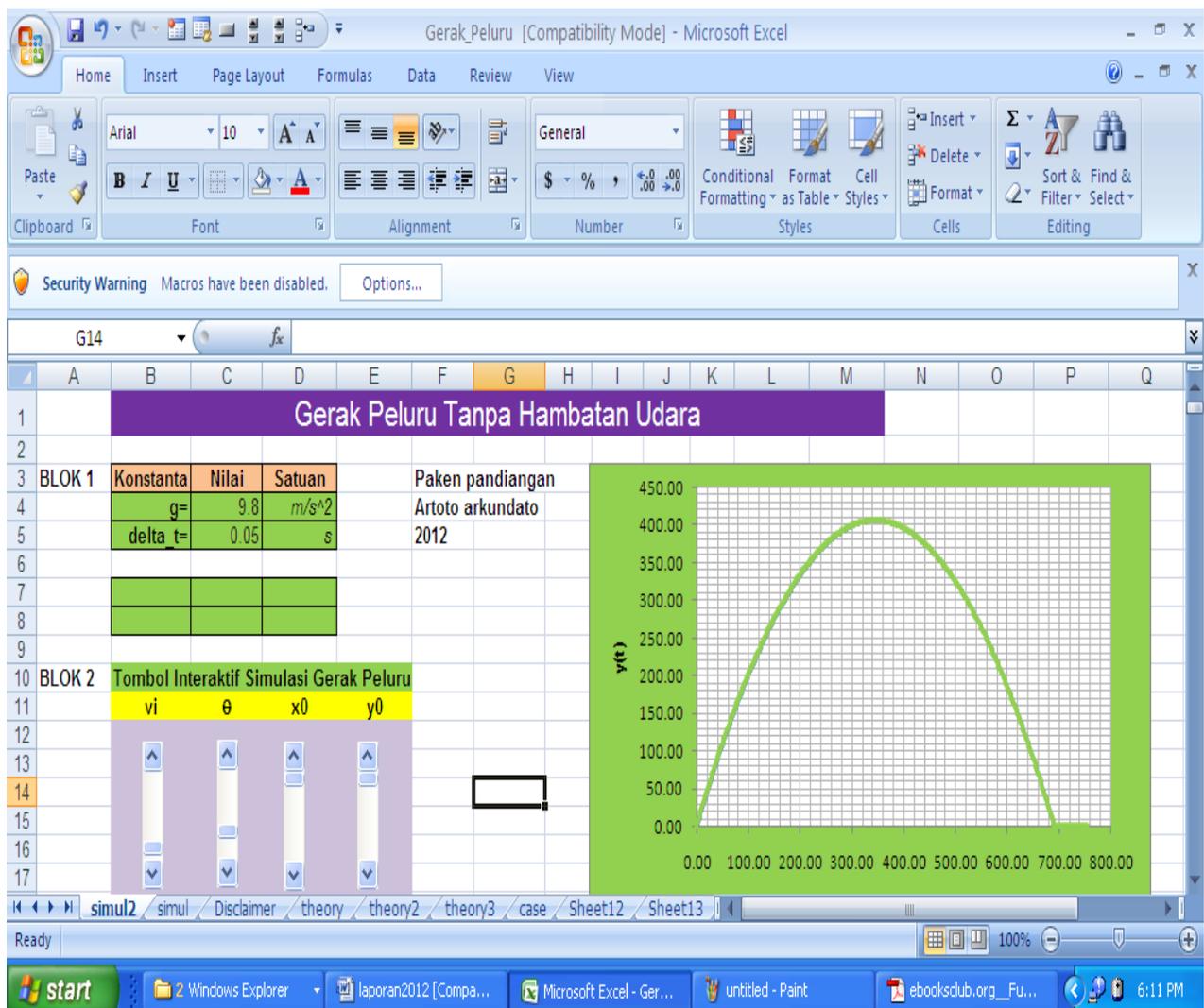
$$a_x = -Dvv_x/m \quad a_y = -g - Dvv_y/m \quad (4.19)$$

4.3.4 Simulasi Gerak Peluru (tanpa hambatan udara)

Untuk mendesain simulasi gerak peluru dari layar Excel maka kita pilih sembarang cell untuk memasukkan nilai-nilai yang diperlukan. Gambar VI.9 adalah contoh pengambilan cell pada layar Excel. Dibuat terlebih dahulu tiga blok cell yaitu blok 1 untuk cell (**B3:D8**) untuk input nilai-nilai yang digunakan dalam persamaan gerak peluru, dan blok 2 untuk cell (**B20:G17**) untuk tombol-tombol scrollbar. Blok 3 untuk cell (**B21:G300**) untuk hasil-hasil perhitungan dimana datanya akan di-plot untuk grafik seperti pada gambar berikut ini.

	A	B	C	D
20				
21	BLOK 3	waktu	x	y
22	Initial	0.00	0.00	0.00
23		0.05	1.90	4.45
24		0.10	3.79	8.88
25		0.15	5.69	13.28
26		0.20	7.58	17.66
27		0.25	9.48	22.02
28		0.30	11.37	26.35
29		0.35	13.27	30.65
30		0.40	15.16	34.93
31		0.45	17.06	39.19
32		0.50	18.95	43.42
33		0.55	20.85	47.63
34		0.60	22.74	51.81
35		0.65	24.64	55.97
36		0.70	26.53	60.10
37		0.75	28.43	64.21

Gambar IV.10. Desain blok-blok dalam layar Excel untuk simulasi gerak peluru berbasis VBA



Gambar IV.11. Desain Simulasi Gerak Peluru Tanpa Hambatan udara

Blok-blok tersebut digunakan sebagai tempat dimana variabel-variabel dan konstanta-konstanta apa saja yang diperlukan untuk menyelesaikan persamaan gerak akan dituliskan di layar Excel. Tidak lupa semua variabel dan konstanta tersebut diberi keterangan secukupnya untuk memudahkan penggunaannya.

Blok 3 adalah blok untuk mendesain tampilan input yang interaktif dengan memanfaatkan fasilitas VBA. Jadi sebenarnya dengan fasilitas Excel fenomena gerak peluru sudah dapat ditangani dengan Ms Excel namun jika ingin ditingkatkan untuk model pembelajaran yang interaktif dan menarik maka dapat ditambahkan fasilitas VBA pada program Excel. Efek dari tombol aplikasi VBA adalah jika tombol digeser ke atas atau ke bawah akan merubah nilai awal Blok 3 pada cell (B22:D22). Dengan cara demikian maka kita sudah merancang suatu simulasi yang interaktif.

4.3.4.2 Realisasi Penyelesaian Gerak Peluru Dalam Excel-VBA

Sekarang akan didesain bagaimana caranya menuangkan ide fenomena gerak peluru dalam Excel VBA.

Kolom Isian Blok 1:

1. Cell C4 untuk input percepatan gravitasi g
2. Cell C5 untuk input $time_mesh$ yaitu delta t

Kolom Blok 2:

Setelah semua tombol scrollbar didesain seperti pada layar tampilan Excel maka untuk mengaktifkan tombol scrollbar dapat dilakukan cara seperti pada contoh sebelumnya yaitu dengan menggunakan Menu Properties dan Menu Macros. Dalam hal ini nilai nilai yang dikeluarkan oleh tombol scrollbar adalah pada cell-cell B19,C19,D19,E19, sebagai nilai variabel yang diinputkan.

Kolom Blok 3:

Selanjutnya rumus-rumus fisika yang berkenaan dengan simulasi harus dituangkan dalam bentuk Cell-Cell dalam Excel. Blok 3 berisi hasil perhitungan menggunakan rumus pada persamaan (6.12) dan (6.13). Berturut-turut untuk cell B22,C22,E22 adalah:

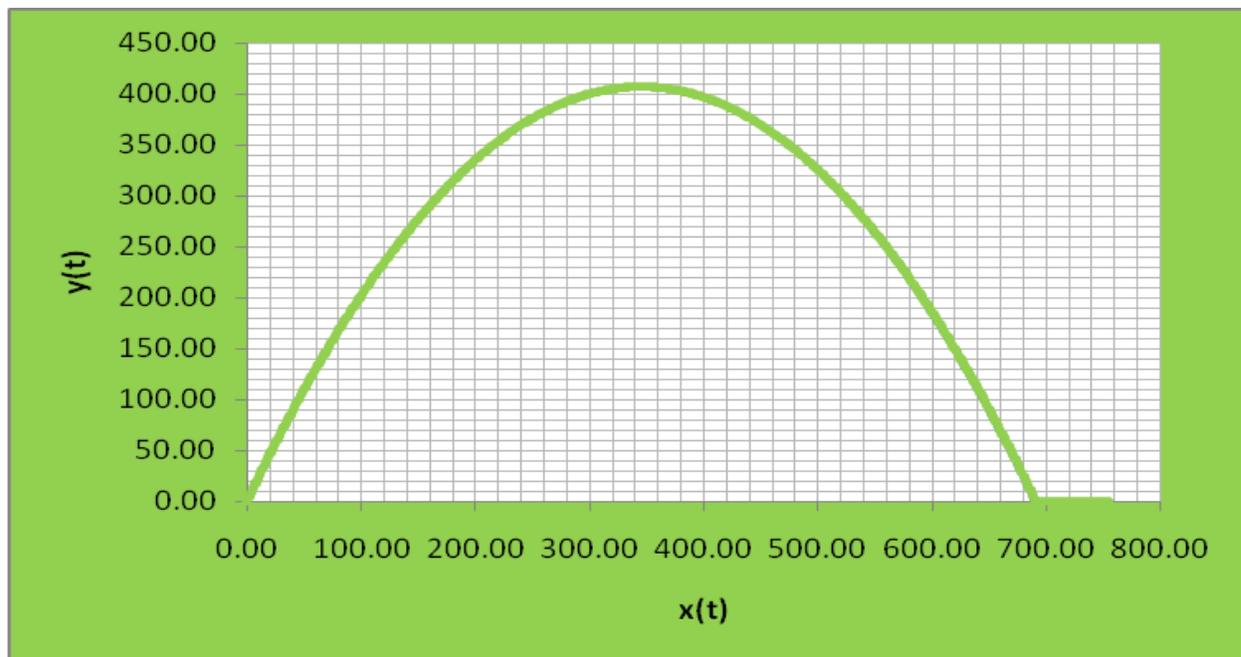
Cell B22 diisi = 0.0
 Cell C22 diisi = $\$B\$18 * \text{COS}(\$C\$18 * \text{PI}() / 180) * B22$
 Cell D22 diisi = $\text{IF}((\$B\$18 * \text{SIN}(\$C\$18 * \text{PI}() / 180) * B22 - 0.5 * \$C\$4 * B22^2) < 0, 0, (\$B\$18 * \text{SIN}(\$C\$18 * \text{PI}() / 180) * B22 - 0.5 * \$C\$4 * B22^2))$

Selanjutnya untuk baris berikutnya:

Cell B23 diisi = $B22 + \$C\5
 Cell C23 diisi = $\$B\$18 * \text{COS}(\$C\$18 * \text{PI}() / 180) * B23$
 Cell D23 diisi = $\text{IF}((\$B\$18 * \text{SIN}(\$C\$18 * \text{PI}() / 180) * B23 - 0.5 * \$C\$4 * B23^2) < 0, 0, (\$B\$18 * \text{SIN}(\$C\$18 * \text{PI}() / 180) * B23 - 0.5 * \$C\$4 * B23^2))$

...
 dan seterusnya di copy ke bawah.

Sekarang untuk membuat Grafik maka dilakukan plot data untuk kolom (C22:D400). Hasil dari plot tersebut adalah seperti pada gambar berikut ini.



Gambar IV.12. Desain Simulasi Lintasan parabola gerak peluru

Para peneliti yang ingin mengembangkan tahap berikutnya dapat dilakukan optimalisasi tombol-tombol VBA sehingga peluru dapat bergerak secara *real-time*.

4.4. Desain Simulasi Optik Geometri

Untuk dapat menggambarkan pembentukan bayangan pada lensa cembung maka kita ingat kembali persamaan untuk lensa yaitu:

$$1/o + 1/i = 1/f \quad (4.20)$$

Untuk dapat menerapkan rumus tersebut pada lembar Excel dan menggambarkan sinar-sinarinya maka yang harus diingat adalah Excel memerlukan dua buah nilai (x,y) untuk menggambar titik, dan memerlukan dua buah titik (x1,y2) dan (x2,y2) untuk menggambar garis. Oleh karena itu kita harus selalu ingat kaidah ini. Kemudian untuk dapat menggambarkan sebuah bayangan dengan baik kita memerlukan dua buah sinar. Untuk itu kita ambil (1) sinar yang datang sejajar sumbu utama optik dan (2) sinar yang datang ke lensa dari obyek pada sudut sembarang dan dibiarkan ke titik bayangan. Untuk memudahkan kita ambil contoh kasus seperti berikut ini:

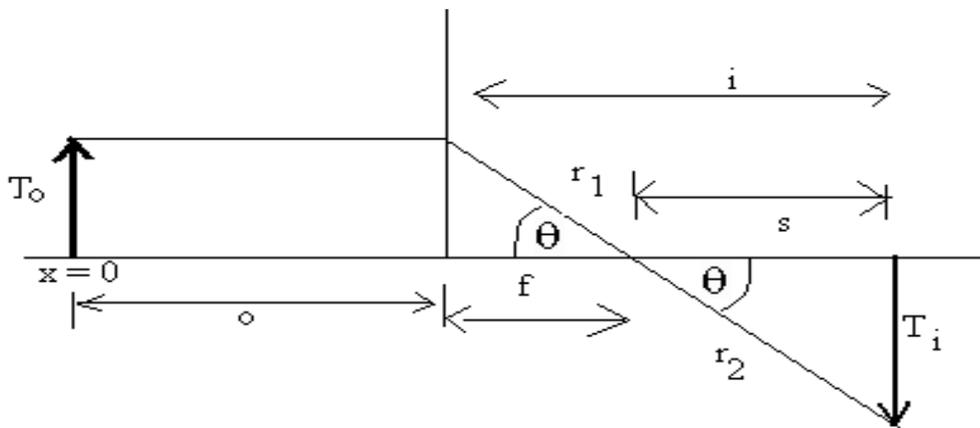
Kasus: jarak obyek $o = 20$ cm, fokus lensa $f = 10$ cm, tinggi obyek $T_o = 5$ cm. Kita hitung dulu jarak bayangan i dengan mengubah pers.(4.20) menjadi:

$$i = \frac{f \times o}{\left(\frac{f \times o}{f}\right) - \left(\frac{f \times o}{o}\right)} \quad (4.21)$$

Dengan pers.(4.21) maka jarak bayangan adalah:

$$i = (10 \times 20) / \{(10 \times 20) / 10 - (10 \times 20) / 20\} = 200 / \{20 - 10\} = 200 / 10 = 20 \text{ cm.} \quad (4.22)$$

Sekarang kita hitung tinggi bayangan T_i yang terjadi menurut gambar berikut ini:



Gambar IV.13. Salah satu pembentukan sinar menurut sinar datang sejajar sumbu optik

Dari pers.(4.21) maka jarak bayangan adalah:

$$i = 20 \text{ cm, sehingga} \\ s = i - f = 20 - 10 \text{ cm} = 10 \text{ cm} \quad (4.23a)$$

Kita hitung sudut θ berdasarkan gambar tersebut di atas yaitu:

$$r_1 = \sqrt{T_o^2 + f^2} \quad (4.23b)$$

$$r_1 = \sqrt{(5^2 + 10^2)} = 11,1803 \text{ cm} \quad (4.23c)$$

Tujuan menentukan sudut θ adalah untuk menentukan tinggi bayangan T_i , dari Gambar IV.13 diperoleh:

$$\theta \approx \arcsin(T_o / r_1) \quad (4.24)$$

$$\sin\theta = T_o/r_1 = 0,447215 \quad (4.25)$$

$$\theta = 26,56514^\circ \quad (4.26)$$

Selanjutnya dihitung nilai s :

$$r_2 = s / \cos \theta \quad (4.27)$$

$$r_2 = 10/\cos(26,56514) = 10/0.8944265 = 11.180349 \text{ cm} \quad (4.28)$$

Sehingga tinggi bayangan adalah:

$$T_i = r_2 \sin(\theta) \quad (4.29)$$

Atau

$$T_i = 11,180349 \times 0,447215 = 5 \text{ cm} \quad (4.30)$$

Sampai disini kita sudah mempunyai beberapa titik data untuk digambar yaitu:

- (1) . Obyek dengan titik-titik data (0,0) dan (0,5)
- (2) . Titik pertemuan sinar dengan lensa di (20,5)
- (3) . Titik pembentukan bayangan w di $x = o+f+s = 20+10+10 = 40 \text{ cm}$ atau titik (40,0)
- (4) . Titik pembentukan bayangan di (40,-5) yaitu ujung bayangan nyang terbalik.

Sekarang kita realisasikan dalam lembar Excel:

Informasi yang ingin diketahui dan kita dapatkan adalah sebagai berikut:

- (1) . Data input o, f, T_o
- (2) . Data output perhitungan $r_1, r_2, \theta, s, T_i, w$
- (3) . Data-data titik yang akan diplot (0,0), (0, T_o), (o, o), (o, T_o), ($w, 0$) dan ($w, -T_i$)

Kita beri judul lembar kerja dengan: **Pembentukan Bayangan Lensa Cembung**

- (1) . Cell B1 diberi label '**Pembentukan Bayangan Lensa Cembung**'
- (2) . Cell B3 diberi label 'jarak obyek $o =$ '

- (3) . Cell B4 diberi label 'jarak fokus f ='
- (4) . Cell B5 diberi label 'tinggi obyek $T_o =$ '
- (5) . Cell B8 diberi label 'r1 = '
- (6) . Cell B9 diberi label 'r2 = '
- (7) . Cell B10 diberi label ' $\theta =$ '
- (8) . Cell B11 diberi label 's ='
- (9) . Cell B12 diberi label ' $T_i =$ '
- (10) . Cell B13 diberi label 'w ='
- (11) . Cell B14 diberi label 'i = '
- (12) . Cell B17 diberi label 'x' dan Cell C17 diberi label 'y' (judul)
- (13) . Cell B18 diisi dengan 0 dan Cell C18 diisi dengan 0 (untuk titik (0,0))
- (14) . Cell B19 diisi dengan 0 dan Cell C19 diisi dengan =C5 (titik (0, T_o)).
- (15) . Cell B20 diisi dengan =C3 dan Cell C20 diisi dengan 0 (titik (o,0))
- (16) . Cell B21 diisi dengan =C3 dan Cell C21 diisi dengan =C5 (titik (o, T_o))
- (17) . Cell B22 diisi dengan = C13 dan Cell C22 diisi dengan 0 (titik (w,0))
- (18) . Cell B23 diisi dengan = C13 dan Cell C23 diisi = C12, untuk titik (w, T_i).

Selanjutnya untuk masing-masing variabel yang harus dihitung nilainya dapat dituliskan sebagai berikut:

(a) $r_1 = \sqrt{T_o^2 + f^2}$. Cell C8 diisi dengan = SQRT(C5*C5+C4*C4)

(b) $i = \frac{f \times o}{\left(\frac{f \times o}{f}\right) - \left(\frac{f \times o}{o}\right)}$.

Cell C14 diisi dengan = (C4*C3)/{((C4*C3)/C4)-((C4*C3)/C3)}

(c) $s = i - f$. Cell C11 diisi dengan = C14 - C3

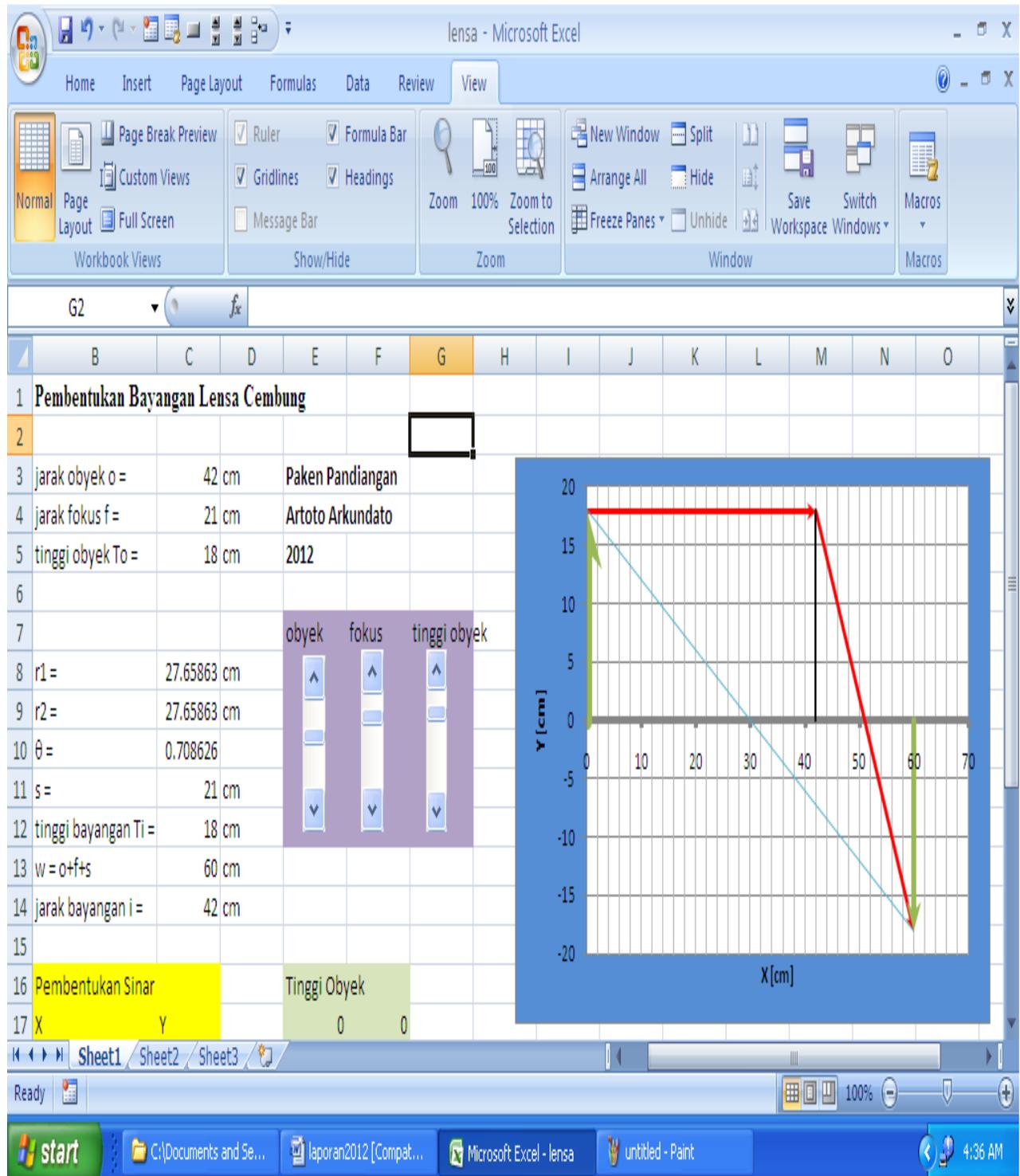
(d) $\theta = \arcsin(T_o/r_1)$. Cell C10 diisi dengan = arcsin(C5/C8)

(e) $r_2 = s / \cos \theta$. Cell C9 diisi dengan = C11/cos(C10)

(f) $w = o+f+s$. Cell C13 diisi dengan = C4+C5+C11

(g) $T_i = r_2 \sin(\theta)$. Cell C12 diisi dengan = C9*sin(C10).

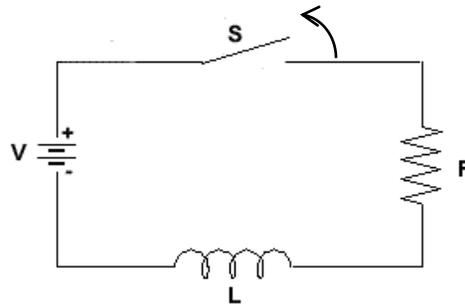
Desain *input* dan *ouput* pada layar Excel menurut ketentuan seperti di atas dapat diperlihatkan seperti gambar berikut ini.



Gambar IV.14. Desain input simulasi Optik pemantulan pada cermin cembung

4.5 . Desain Simulasi Rangkaian RL

Pada simulasi ini akan dipelajari apa yang terjadi jika saklar pada rangkain RL di buka dan ditutup. Rangkaian RL sederhana ini mengandung sebuah sumber tegangan, sebuah tahanan (resistor), sebuah induktor (ideal), dan sebuah saklar seperti pada gambar di bawah ini. Tanda panah menunjukkan *switch* dibuka setelah nilai-nilai keadaan tunak ditetapkan. Induktor ideal adalah induktor dengan resistansi diri yang dimilikinya dapat diabaikan.



Gambar IV.15. Rangkaian RL sederhana

Jika induktor memiliki resistansi yang tidak dapat diabaikan maka perlu ditambahkan pengaruhnya pada komponen tahanan menjadi:

$$R_T = R_R + R_L \quad (4.31)$$

Jika arus melewati sebuah konduktor maka akan berkembang fluks magnet disekeliling konduktor. Fluks magnet adalah ukuran jumlah garis-garsi gaya magnet yang melewati sebuah luasan. Hal yang penting dari fenomena ini adalah:

the voltage resulting from this magnetic flux opposes any change in current. Inductors always oppose the change in current but offer no such opposition to a steady state current.

Ini kemudian menjadi dasar dari hukum Lenz bahwa:

an inductor opposes the change in current (di/dt) by inducing a voltage that opposes it The induced voltage by the inductor opposes the applied voltage until the current reaches its steady state value. Work has to be done by the voltage source to keep the current flowing against this emf.

Dalam pengertian yang lain juga berlaku bahwa:

the current through an inductor is decreasing, $di/dt < 0$, the inductor is returning the energy back to the circuit. The converse of this is true because when the

current through an inductor is increased, $di/dt > 0$, energy is stored in the magnetic field of the inductor.

Emf terimbas (back emf) diberikan oleh:

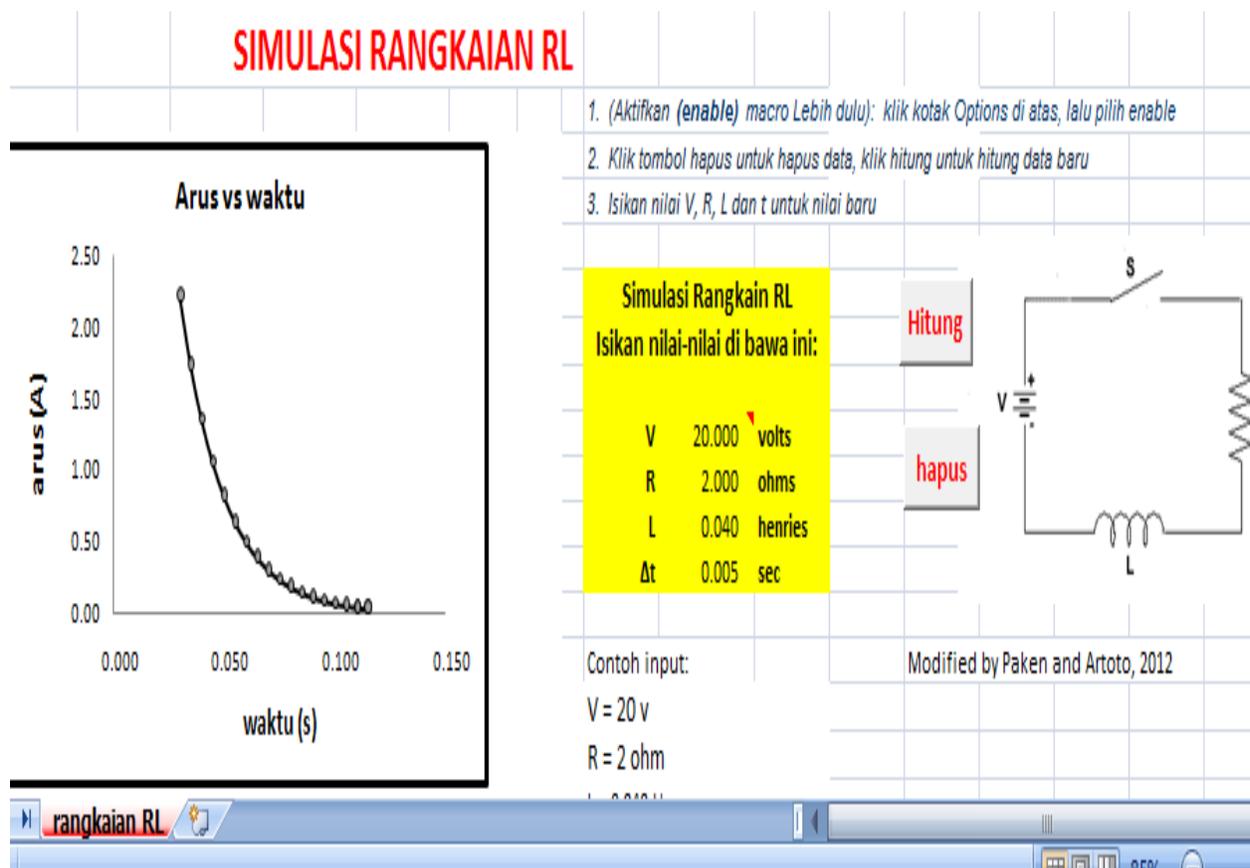
$$V_L = -L \cdot di/dt \quad (4.32)$$

V_L adalah tegangan dalam volt, L adalah induktansi dalam henries, dan di/dt dalam amps/s. Emf terimbas selalu melawan perubahan arus (di/dt) yang mencerminkan seolah-olah ada “kelembaman listrik”.

Setelah saklar dibuka maka arus mengalir peluruhan (lihat gambar) :

$$i_0 = i_{ss} = V_s/R \text{ to } 0 \quad (4.33)$$

dengan i_0 adalah arus saat saklar dibuka dan i_{ss} adalah arus ajek, V_s adalah tegangan sumber, R adalah resistansi. Pemrograman VBA untuk simulasi RL adalah sebagai berikut:



Gambar IV.16. Desain Simulasi Rangkaian RL

Berapa lama rangkaian RL mencapai nilai keadaan ajek? Jika didefinisikan konstanta waktu τ :

$$\tau = L/R \quad (4.34)$$

Selanjutnya kita terapkan hukum Kirchhoff dan Ohm:

$$\Delta V = 0$$

.Kirchhoff's loop rule

$$V_S = V_R + V_L$$

Ohm's law

$$V_S = V_R + V_L = iR + L di/dt$$

Penyelesaian persamaan diferensial ini adalah:

$$0 = iR + L di/dt$$

; $V_S = 0$ dalam kondisi *switch* terbuka

$$di/i = -(R/L)dt$$

; metode separasi variabel

$$\int_{i(0)}^{i(t)} \frac{di}{i} = -\frac{R}{L} \int_0^t dt$$

; integrasi

$$\ln i - \ln i_0 = -(R/L)t$$

$$\ln \frac{i}{i_0} = -(R/L)t$$

; definisi logaritmik

$$i = i_0 \bullet e^{-(R/L)t}$$

; menyelesaikan untuk i

Suku $e^{-(R/L)t}$ menggambarkan kebergantungan waktu arus selama tahap transien. Hukum Ohm menyatakan: $I = V/R$

Setelah arus mencapai keadaan ajek maka: $di/dt = 0$. Kita berikan contoh seperti dalam excel:

$$V_S = 20.000 \text{ V} \quad L = 0.040 \text{ H} \quad R = 2.000 \text{ } \Omega \quad \Delta t = 0.005 \text{ s. } i(t) = i_0 \bullet e^{-(R/L)t} = 20.000 \text{ V} / 2.000 \text{ } \Omega * e^{-(2.000/0.040*0.005)} \text{ atau } i(t) = 7.788 \text{ A}$$

4.6. Desain Simulasi Radiasi Benda Hitam

Teori yang melandasi kajian distribusi Planck adalah seperti dijelaskan pada konsep Radiasi Benda Hitam (*Black Body Radiation*). Dalam eksperimen diperoleh bahwa setiap benda padat memancarkan radiasi dengan kecepatan yang berbeda untuk setiap benda pada suhu yang sama. Benda hitam adalah benda yang dapat menyerap semua gelombang elektromagnetik yang lahir dari gelombang hasil osilasi medan magnet dengan medan listrik yang memiliki frekuensi ν dan panjang gelombang λ dari gelombang elektromagnetik pada keadaan vakum yang dihubungkan dengan radiasi yang jatuh padanya. sebuah pendekatan untuk benda hitam ini adalah sebuah rongga dengan lubang yang sangat kecil. Hal ini dapat menunjukkan bahwa kecepatan pancaran radiasi persatuan luas permukaan benda hitam merupakan fungsi dari suhu dan tidak tergantung pada jenis bahan dasar yang membentuk benda hitam tersebut.

Persamaan teoritis untuk distribusi frekuensi ($R(\nu)$) pada tahun 1900, dengan menggunakan teori energi ekuipartisi dari fisika klasik, adalah (**Zimmerman., R.L , 1995**):

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (4.35)$$

Dimana: I adalah jumlah energi per satuan luas permukaan, per satuan waktu, per satuan sudut padat, per satuan frekuensi, yang dipancarkan benda hitam pada frekuensi ν ,

T adalah temperatur tubuh hitam,

h adalah tetapan Planck,

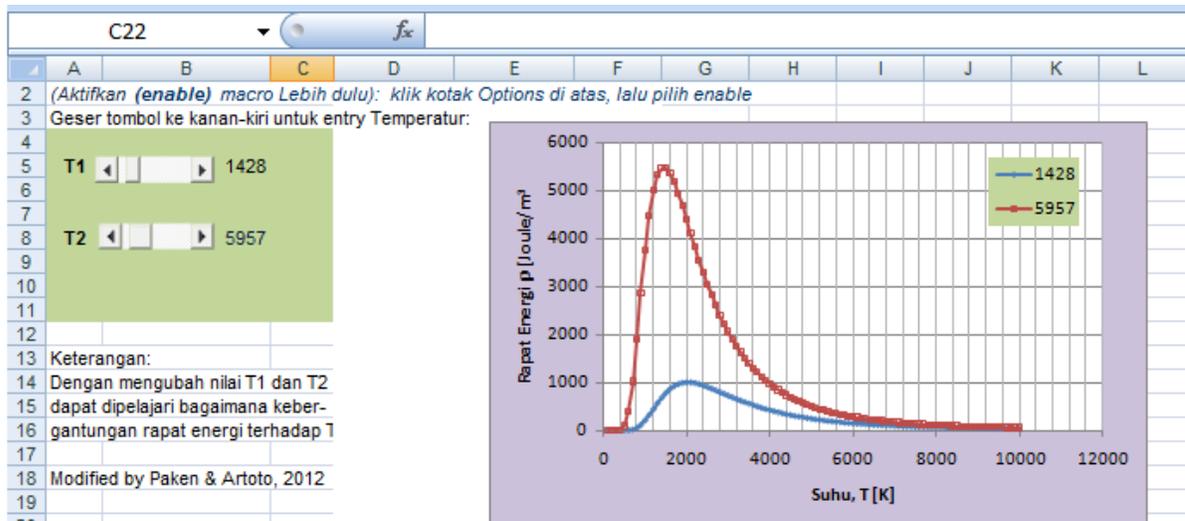
c adalah kecepatan cahaya, dan

k adalah konstanta Boltzmann.

Hasil eksperimen dari persamaan (4.35) terlihat sangat ganjil karena rumus ini memprediksikan bahwa jumlah energi radiasi akan meningkat terus tanpa batas ketika ν meningkat. Namun, pada kenyataannya, $R(\nu)$ akan mencapai titik maksimum dan akan turun kembali menjadi nol pada waktu frekwensi ν bertambah. Melalui eksperimen ini fisika klasik gagal menjelaskan untuk memprediksi spektrum radiasi benda hitam. Pada tahun 1900, fisikawan Planck mengajukan formula baru untuk menjelaskan kurva radiasi benda hitam yang dikenal dengan formula Planck, yaitu (**Sadri Hassani, 2009**):

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (4.35)$$

Berdasarkan pers. (4.35) dapat dibuatkan desain program simulasi berbasis VBA untuk Distribusi Planck yang dapat ditampilkan seperti gambar berikut:



Gambar IV.17. Desain Simulasi Distribusi Planck

Dari simulasi yang ditampilkan pada gambar IV.17 tampak bahwa dinding benda hitam mengandung muatan listrik yang berosilasi dan bervibrasi pada berbagai frekuensi. Dengan mengubah nilai T1 dan T2, maka kita dapat melihat grafik ketergantungan rapat energy terhadap suhu. Hasil ini sangat cocok dengan penemuan Planck bahwa osilasi muatan hanya mungkin dapat terjadi pada nilai diskrit $0, h\nu, 2h\nu, 3h\nu, \dots, nh\nu$. Sedangkan pada fisika klasik, energi bersifat kontinu dimana sebuah sistem dapat melepaskan atau menerima energi dengan jumlah berapapun. Hal ini bertentangan dengan teori fisika klasik. Oleh karena itu Planck membatasi jumlah energi pada masing-masing osilasi muatan sehingga akan dapat membatasi jumlah energi pada masing-masing osilator yang dapat melepas atau menerima energi sebesar integral $h\nu$. Planck menyebut jumlah $h\nu$ itu sebagai energi kuantum yang terkuantisasi dan bersifat diskrit (Levine, Ira. N, 2009).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dalam waktu yang sangat terbatas peneliti telah berhasil membuat desain simulasi beberapa topik fisika berbasis VBA yang dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Terdapat 5 topik fisika yang berhasil didesain pengembangan simulasinya, yaitu: Gerak Jatuh Bebas, Gerak Peluru, Optika Geometri, Rangkaian RL, dan Distribusi Planck.
2. Setiap topik dijabarkan formulasinya, kemudian formulasi tersebut dirubah dalam bentuk numerik dengan memanfaatkan fasilitas yang tersedia diprogram excell berbasis Visual Basic Application.
3. Setiap Topik didesain layarnya sesuai keperluan sehingga layar tersebut bersifat interaktif dengan cara menyediakan tombol-tombol yang diperlukan sehingga dengan menekan tombol input, kita dapat memperoleh hasil output sesuai besaran yang diinginkan.
4. Pada setiap topik telah didesain simulasinya sehingga model tersebut telah siap diupload ke website yang dapat digunakan sebagai Dry laboratory sederhana yang nantinya dapat digunakan sebagai laboratorium sesungguhnya bagi para mahasiswa terutama mahasiswa yang mengikuti pendidikan jarak jauh.

5.2. Saran

Penelitian ini termasuk penelitian pendahuluan untuk topic-topik yang bersifat abstrak dan perlu dilanjutkan untuk membuat animasi-animasi yang lain yang makin kompleks dan bervariasi dari sisi model input dan model animasi realtime. Perlu juga dikembangkan berbagai konsep-konsep fisika yang lain seperti mekanika kuantum, termodinamika, dan fisika atom sehingga nantinya dapat digunakan sebagai salah satu alternatif laboratorium mahasiswa yang dapat dimunculkan bentuk animasi kreatif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. **Artoto Arkundato, Paken Pandiangan**, Application of Visual Basic Application Program (VBAP) for an Interactive instruction in Open and Distance Learning (IODL), ICDE conference, Denpasar Bali, 2011.
- [2] **A. Arkundato**, Z. Suud, M. Abdullah, Corrosion study of Pure Fe in a stagnant liquid Pb by Molecular Dynamics simulation, International Seminar ICANSE, Hotel Grand Aquila, Bandung, November 2009.
- [3]. **Haibin Sun & Tingting Liu**, The Survey and Analysis of Excellent Senior High School Physics Teachers' Professional Growth Actuality, International Education Studies Vol. 3, No. 3; www.ccsenet.org/ies, August 2010.
- [4]. **Halliday Resnick**, Fundamental of Physics, 8th Edition, 2009
- [5]. (<http://www.tuition.com.hk/physics.htm>).
- [6]. **Ivan Dimov Stefka Dimova, Natalia Kolkovska**, Numerical Methods and Applications, 7th International Conference, NMA 2010, Borovets, Bulgaria, August 20-24, 2010.
- [7]. **Levine, Ira.N.**, Sixth edition Physical Chemistry. New York: McGraw-Hill, 2009.
- [8]. **Michael T. Vaughn**, Introduction to Mathematical Physics, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2007.
- [9]. **Sadri Hassani**, Mathematical Methods For Students of Physics and Related Fields, Springer, 2009.
- [10]. **Zimmerman., R.L.**, Mathematica for Physics, Addison-Wesley, 1995.

Lampiran: Biodata dan Pernyataan Kesiapan Ikut serta Penelitian dari Ketua Peneliti.

Ketua Tim Peneliti

- 1. Nama : Paken Pandiangan, S. Si., M. Si
- 2. NIP : 197008201997031003
- 3. Pendidikan Terakhir : S2 Fisika Teoretik dan Komputasi PPs ITB
- 4. Tempat/ Tanggal lahir : Tapanuli Utara, 20 Agustus 1970
- 5. Jabatan Fungsional Akademik : Lektor Kepala
- 6. Alamat Kantor : UPBJJ UT Batam
Jl. Sutomo No 3 Sekupang Batam
Telp/fax. 0778-323478, 0778-323479
- 7. Alamat Rumah : Perum Marcelia C-173 Batam Centre Batam
Telp./HP. 0778-474150, 081317991323
- 8. E-mail : pakenp@ut.ac.id

9. PENDIDIKAN

Universitas/Institut dan Lokasi	Gelar	Tahun Ijazah	Bidang Studi
UGM - YOGYAKARTA	Sarjana Sains (S. Si)	1995	Fisika Murni
ITB - BANDUNG	Magister Sains (M. Si)	2003	Fisika Teoretik dan Komputasi

10. PENGALAMAN PENELITIAN

Institusi	Jabatan	Tahun
Universitas Terbuka	Peneliti utama: 1) Pengembangan Multimedia <i>Computer Assisted Instruction</i> (CAI) : Pemanfaatan Konsep Fluida dengan Program AUTHOWARE	1999
	2) Bentuk dan Solusi Persamaan Gelombang Soliton Manakov Terkopel	2003
	Peneliti: 1) Efektivitas Pelaksanaan Praktikum PMIPA Universitas Terbuka dengan Model Kemitraan.	2000

Institusi	Jabatan	Tahun
	2) Pengembangan Delivery Sistem Mata Tataran Fisika untuk SMK .	2004
	3) Pengembangan Learning Object Materials and Object Metadata: Work, Energy, and Power.	2005
UGM Yogyakarta	Peneliti: 1) Peneraan Watt meter 2) Efek Terobosan (<i>Tunneling Effect</i>) Dalam Mekanika Kuantum	1995 1995
ITB Bandung	Peneliti: Bentuk dan Solusi Persamaan Gelombang Soliton Koheren Parsial.	2003
Universitas Terbuka	Peneliti Utama: Dampak Tutorial Online Terhadap Kelulusan Mahasiswa (Studi Kasus Pada UPBJJ-UT Batam).	2010
Universitas Terbuka	Peneliti Utama: Model Pembelajaran Kimia Fisika Berbasis Simulasi Dinamika Molekul.	2011

11. DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

- Artoto Arkundato, **Paken Pandiangan** (2011), Application of Visual Basic Application Program (VBAP) for an Interactive instruction in Open and Distance Learning (IODL), ICDE conference tahun 2011, Denpasar Bali.
- **Paken Pandiangan** (2006). Solusi dan Profil Persamaan Gelombang Seliton Koheren Parsial. *Jurnal SIGMA*. Vol. 8. FMIPA Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
- **Paken Pandiangan** (2006). Multimedia Interaktif: Usaha, Energi, dan Daya. Dalam Buku *Mata Tataran Fisika SMK* Dikmenjur DEPDIKNAS.
- **Paken Pandiangan** (2006). *Pengantar Fisika Kuantum*. Buku Materi Pokok Penerbitan Universitas Terbuka.
- **Paken Pandiangan** (2005). Bentuk dan Solusi Persamaan Gelombang Soliton Manakov Terkopel. *Buku Bunga Rampai 3 FKIP*. Universitas Terbuka.

- **Paken Pandiangan** dan A. Arkundato (2005). Solusi Persamaan Schrodinger Osilator Harmonik dalam Ruang Momentum. *Jurnal Matematika, Sains & Teknologi*. Vol.5. LPPM Universitas Terbuka.
- **Paken Pandiangan** dan A. Arkundato (2004). Perhitungan Tampang Lintang Diferensial Hamburan Elastik Elektron-Argon pada 10,4 eV dengan Analisis Gelombang Parsial. *Jurnal Matematika, Sains & Teknologi*. Vol.3. LPPM Universitas Terbuka.
- **Paken Pandiangan** (2004). Pengembangan Delivery Sistem. Dalam *Buku Mata Tataran Fisika SMK* Dikmenjur DEPDIKNAS.
- **Paken Pandiangan** (2003). Terjadinya Rotasi dan Revolusi Bumi serta Akibat yang Ditimbulkannya. *Buku Bunga Rampai 2 FKIP*. Universitas Terbuka.
- **Paken Pandiangan** & Isti Rokhiyah (2003). Pelaksanaan Praktikum IPA di UPBJJ-UT Jambi dengan Sistem Kemitraan. *Buku Bunga Rampai 2 FKIP*. Universitas Terbuka.
- **Paken Pandiangan** (2000). Kemagnetan dan Superkonduktivitas. Dalam Buku Materi Pokok *Fisika Statistik*. PUSBIT Universitas Terbuka.
- **Paken Pandiangan** (1999). Proses kuasistatik, Usaha Kuasistatik, dan Perumusan Hukum I Termodinamika. Dalam Buku Materi Pokok *Termodinamika*. PUSBIT Universitas Terbuka.
- **Paken Pandiangan** (1998). Getaran Gelombang dan Bunyi. Dalam Buku Materi Pokok *Praktikum IPA*. PUSBIT Universitas Terbuka.

Dengan ini saya menyatakan bersedia untuk ikut serta dalam tim penelitian dengan tulus dan waktu yang sesuai seperti diuraikan dalam Lampiran I. Apabila saya tidak memenuhi kesediaan ini, saya bersedia diberhentikan dari keanggotaan Tim Penelitian tersebut.

Batam, Desember 2012



Paken Pandiangan, S.Si, M.Si
NIP. 19700820 199703 1 003

ARTIKEL

Desain Model Eksperimen Virtual Fisika Berbasis Visual Basic Application

Paken Pandiangan¹⁾, Artoto Arkundato²⁾

¹⁾ Universitas Terbuka, pakenp@ut.ac.id,

²⁾ Penulis Modul UT (Universitas Jember), a.arkundato@gmail.com

Abstrak

Aplikasi Visual Basic Application (VBA) diterapkan untuk desain model virtual eksperimen Fisika yang interaktif dan inovatif. Penerapan VBA untuk kajian fisika ini memiliki kelebihan karena VBA dapat diakses dari aplikasi Ms Office Excel. Aplikasi Office dewasa ini telah digunakan secara sangat luas baik di perkantoran, di lembaga-lembaga swasta maupun non swasta. Terutama aplikasi Office telah dipelajari secara luas di sekolah-sekolah baik oleh guru maupun siswa. Namun demikian sedikit users (guru dan siswa) aplikasi Excel menyadari bahwa VBA yang dapat diakses dari Excel dapat diterapkan di sekolah-sekolah untuk model pembelajaran Fisika (dry lab). Pada penelitian ini berusaha dirancang model pembelajaran inovatif-interaktif berbasis VBA untuk simulasi Fisika. Keuntungan dari model ini adalah program simulasi dapat digunakan untuk media pembelajaran *online* dan juga users tidak perlu melakukan instalasi program lain seperti Delphi, Matlab, dan lain-lain yang tidak familiar. Desain simulasi ini dapat digunakan sebagai dry laboratory di website dalam pendidikan jarak jauh.

Abstract

Visual Basic Application (VBA) is applied to design a virtual model of interactive and innovative physics experiments. Application of VBA to study physics has advantages because it can be accessed from Ms Office Excel application. Office applications have grown very widely used both in private and non-private institutions. Especially the Office applications have been widely studied in schools by both teachers and students. However, few users (teachers and students) realize that the VBA application that is already in Ms Excel it can be implemented for learning model of Physics study (dry lab). In this research we attempted to design an innovative learning model for physics based on the VBA physics simulations. The advantage of this model is the simulation program can be used for online learning media while users do not need to install another simulation program such as Delphi, Matlab, etc that is not familiar as the Excel. This physics animation will be pasted into website for distance learning.

I. PENDAHULUAN

Tidak bisa dipungkiri bahwa mayoritas pelajar fisika baik dahulu maupun dewasa ini akan setuju bahwa fisika adalah satu dari topik yang sulit dipelajari di sekolah sekolah. Fisika adalah sains yang berusaha menggambarkan bagaimana alam bekerja dalam bahasa matematika. Fisika juga sering dianggap sains (ilmu alam) yang paling mendasar di antara sains-sains yang lain dan teori-teorinya berusaha menggambarkan perilaku bangunan dasar yang paling kecil dari materi,

cahaya, alam semesta dan segala sesuatu di antaranya (<http://www.tuition.com.hk/physics.htm>).

Fisika adalah sebuah bidang kajian yang menarik dan sangat berguna untuk dipelajari. Namun demikian sebuah penelitian internasional di Inggris melaporkan bahwa jumlah peminat ujian fisika level-A dari tahun ke tahun dari 1985 ke 2006 mengalami kemerosotan 41% (<http://www.tuition.com.hk/physics.htm>). Dilain pihak untuk bidang Biologi justru mengalami kenaikan 36% pada periode yang sama. Trend seperti ini di Indonesia meskipun oleh penulis belum pernah dilakukan penelitian sejenis namun secara rata-rata peminat fisika tampaknya kurang tinggi di banding peminat sains yang lain. Padahal kemajuan teknologi dewasa ini sangat bergantung pada kemajuan sains fisika tidaklah bisa dipungkiri, sebut saja teknologi laser, semikonduktor, nuklir, LCD dan lain-lain adalah pencapaian besar sains fisika.

Barangkali penyebab dari kurangnya peminat fisika adalah kurangnya pemahaman apa itu fisika disamping oleh adanya kombinasi yang inheren fisika sebagai bidang yang sulit dan tingkat kesulitan dari matematika yang digunakan. Seseorang yang memahami fisika dengan baik dapat mudah memelajari bidang yang lain namun tampaknya tidak untuk sebaliknya. Oleh karena itu untuk meningkatkan pemahaman fisika perlu upaya-upaya lebih, diantaranya dengan menciptakan model-model pembelajaran yang tepat dan menarik. Dilain pihak siswa juga perlu memahami pentingnya fisika dan benefit jika mempelajari fisika.

Fisika dari penelusuran lapangan yang dilakukan maka terlihat bahwa pemahaman dosen maupun mahasiswa belum begitu baik dan komprehensif terhadap materi-materi yang relatif sulit (Artoto Arkundato & Paken Pandiangan, 2011). Salah satu upaya untuk meningkatkan pemahaman fisika adalah merancang dan mendisain eksperimen fisika komputasi, misalnya berbasis *Visual Basic Application* (VBA). Melalui model eksperimen virtual ini akan semakin memperkuat pemahaman konsep fisika baik dosen maupun mahasiswa dan secara bersamaan dapat memperkuat kemampuan metode komputasinya. Demikian juga agar dosen maupun mahasiswa dapat belajar tanpa dibatasi ruang dan waktu, maka hasil rancangan VBA ini nantinya akan dibuat berbasis web sehingga dapat digunakan sebagai *Dry Laboratory* (Dry Lab).

Mengapa perlu menggunakan pemrograman VBA? Pemrograman VBA adalah pemrograman *visual basic* yang terintegrasi dengan pemrograman Windows Excel. Setiap komputer yang digunakan diberbagai institusi, lembaga, atau yang lain hampir semuanya menggunakan sistem operasi Windows dengan fasilitas Microsoft office juga dilakukan instalasi. Dalam hal ini Office Excel juga biasanya telah ikut serta di-install ke dalamnya yang nantinya

dapat digunakan untuk melakukan perhitungan-perhitungan baik yang sederhana maupun yang rumit. Namun demikian seberapa banyak dari pengguna Excel yang menyadari bahwa dalam Excel sudah tersedia fasilitas VBA? Khususnya pada berbagai laboratorium komputer di sekolah maka sebenarnya penggunaan VBA ini untuk mendukung kegiatan Dry Lab yang kreatif sebenarnya dapat dikembangkan dan dioptimalkan. Melalui program VBA ini dapat merancang pemrograman komputer untuk melakukan simulasi peristiwa-peristiwa fisika seperti gerak peluru, peluruhan, gelombang, optik dan materi lainnya yang membutuhkan eksperimen. Sehingga laboratorium komputer tidak hanya untuk melatih siswa paham cara menggunakan komputer namun lebih dari itu guru dan siswa dapat mengembangkan suatu kegiatan ekstrakurikuler pemrograman komputer untuk fenomena fisika, untuk menumbuhkan minat siswa pada matapelajar Fisika. Pada penelitian ini akan dikaji berbagai fenomena fisika yang cukup menarik, kemudian fenomena tersebut dicoba dipindahkan kedalam virtual lab menggunakan pemrograman VBA, sehingga program yang dibuat diharapkan dapat digunakan untuk alat bantu pembelajaran Fisika. Langkah-langkah pembuatan program VBA untuk simulasi Fisika yang dilaporkan dalam laporan penelitian ini diharapkan dapat menjadi sebuah prototipe bagi guru-guru Fisika bahkan siswa untuk mengembangkan sendiri pemrograman VBA untuk fenomena-fenomena fisis yang lain.

1.1 Visual Basic Application

Visual Basic Application atau VBA adalah merupakan salah satu bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dapat digunakan untuk mengintegrasikan bahasa Visual Basic ke windows Excel. Jadi, dengan integrasi ini memudahkan pembuatan fasilitas-fasilitas perhitungan baru di dalam Excel sesuai dengan kebutuhan sendiri dan bahkan dapat digunakan untuk simulasi. Beberapa makalah yang terpublikasikan di journal telah membahas persoalan ini (Haibin Sun & Tingting Liu, 2010). Namun demikian, pengembangan yang lebih serius dan potensial untuk simulasi fisika masih relatif baru. Hal yang penting dari pemanfaatan VBA adalah dapat digunakan sebagai laboratorium virtual sehingga akan memudahkan pemahaman dosen maupun mahasiswa terhadap materi-materi yang sulit dan membutuhkan laboratorium dalam pembuktiannya. Salah satu langkah awal pemanfaatan VBA dengan Excel adalah satu paper yang telah diikuti sertakan dalam Seminar Internasional ICDE tahun 2011 di Denpasar Bali (**Artoto Arkundato & Paken Pandiangan, 2011**).

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah merancang simulasi fisika berbasis VBA yang dapat digunakan

sebagai laboratorium virtual berbasis web (Dry Lab). Penggunaan VBA memiliki kelebihan karena VBA telah tersedia dalam Ms Excel yang biasa di install di komputer dan dipelajari di berbagai laboratorium.

1.3 Manfaat Penelitian

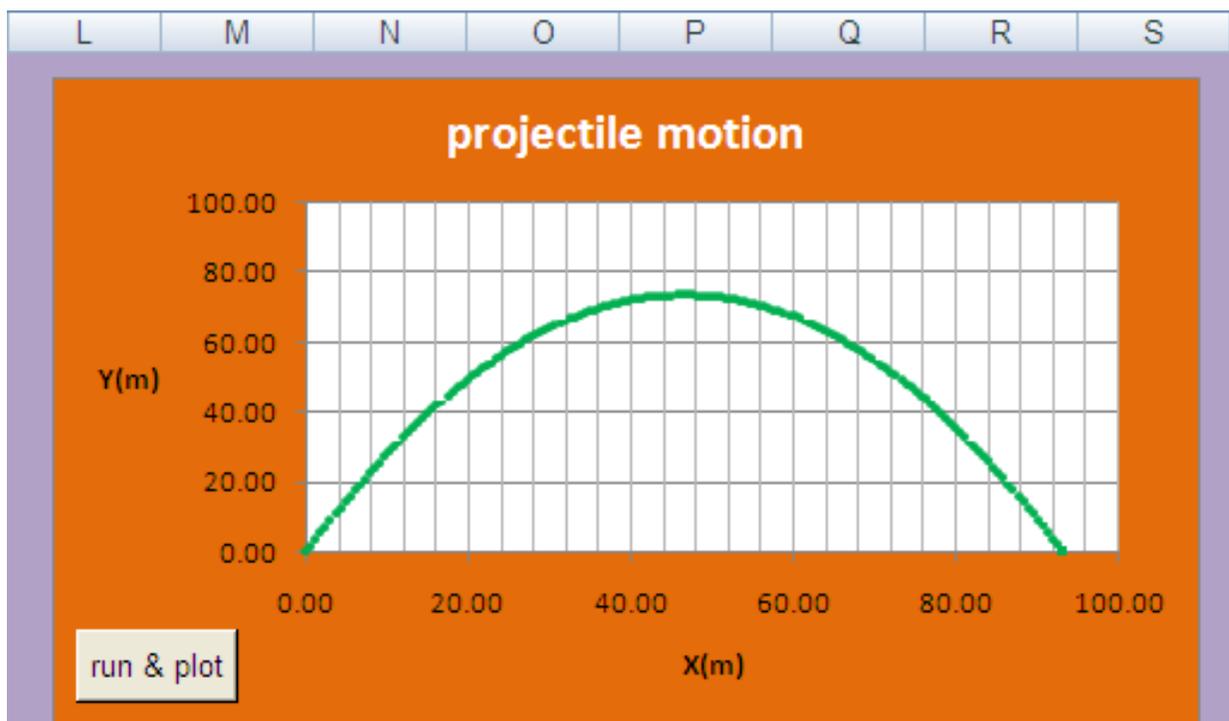
Program-program simulasi VBA hasil penelitian ini akan sangat bermanfaat baik bagi Institusi maupun bagi para mahasiswa dan dosen, yaitu untuk:

- 1) Tersedianya Laboratorium Virtual berbasis VBA sehingga akan mengurangi biaya pembelian alat yang mahal.
- 2) Dapat memahami penggunaan VBA untuk berkreasi membuat simulasi fisika, sehingga dengan Excel yang tersedia tidak perlu lagi membeli dan menginstal bahasa pemrograman yang lain seperti Delphi, Pascal, Matlab dan yang lainnya.
- 3) Mahasiswa pada umumnya sudah biasa dengan Excel sehingga VBA dapat mudah dipelajari dan digunakan dengan baik untuk komputasi fisika dengan visualisasi grafik yang baik, interaktif, dan menarik.
- 4) VBA berbasis web dapat diakses oleh mahasiswa dan dosen dimana dan kapan saja.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Visual Basic Application (VBA)

Visual Basic Application atau VBA adalah merupakan salah satu bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dapat digunakan untuk mengintegrasikan bahasa Visual Basic ke windows Excel. Jadi, dengan integrasi ini memudahkan pembuatan fasilitas-fasilitas perhitungan baru di dalam Excel sesuai dengan kebutuhan sendiri dan bahkan dapat digunakan untuk simulasi. Beberapa makalah yang terpublikasikan di journal telah membahas persoalan ini (Haibin Sun & Tingting Liu, 2010). Namun demikian, pengembangan yang lebih serius dan potensial untuk simulasi fisika masih relatif baru. Hal yang penting dari pemanfaatan VBA adalah dapat digunakan sebagai laboratorium virtual sehingga akan memudahkan pemahaman dosen maupun mahasiswa terhadap materi-materi yang sulit dan membutuhkan laboratorium dalam pembuktiannya. Salah satu langkah awal pemanfaatan VBA dengan Excel adalah satu paper yang telah diikut sertakan dalam Seminar Internasional ICDE tahun 2011 di Denpasar Bali (**Artoto Arkundato & Paken Pandiangan, 2011**).



Gambar II.1. Salah satu model simulasi awal untuk gerak peluru.

Topik ini dapat dikembangkan lebih lengkap misalnya dengan menambahkan efek ukuran obyek, efek hambatan udara, dan efek-efek sudut dan rotasi.

Fenomena gerak peluru di atas dapat diberikan oleh persamaan gerak Newton (**Michael T. Vaughn, 2007**):

$$x = x_0 + v_{0x} t = x_0 + v_0 \cos (q) t, \quad (2.1)$$

$$y = y_0 + v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2 = y_0 + v_0 \sin (q) t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (2.2)$$

Yang mempunyai solusi numerik

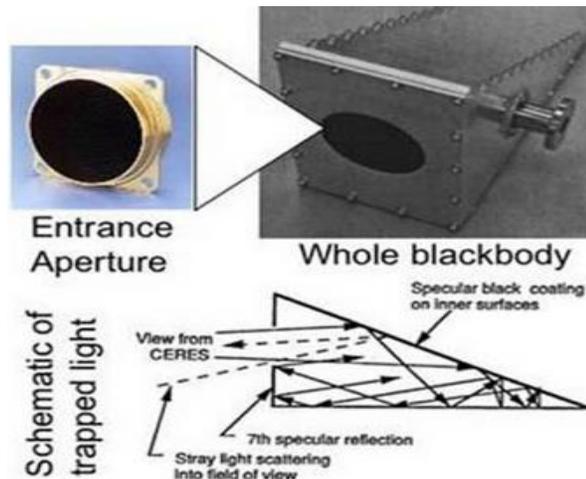
$$x(n+1) = x(n) + v_x(n)\Delta t + \frac{1}{2} a_x(n)(\Delta t)^2 \quad (2.3)$$

$$y(n+1) = y(n) + v_y(n)\Delta t + \frac{1}{2} a_y(n)(\Delta t)^2 \quad (2.4)$$

Pada riset ini dikembangkan topik-topik baru simulasi fisika dan juga akan diintegrasikan ke web yang nantinya dapat diakses oleh mahasiswa maupun dosen. Setiap masalah yang akan dibahas memerlukan solusi numerik khusus yang sesuai, sehingga observasi metode numerik sangat diperlukan.

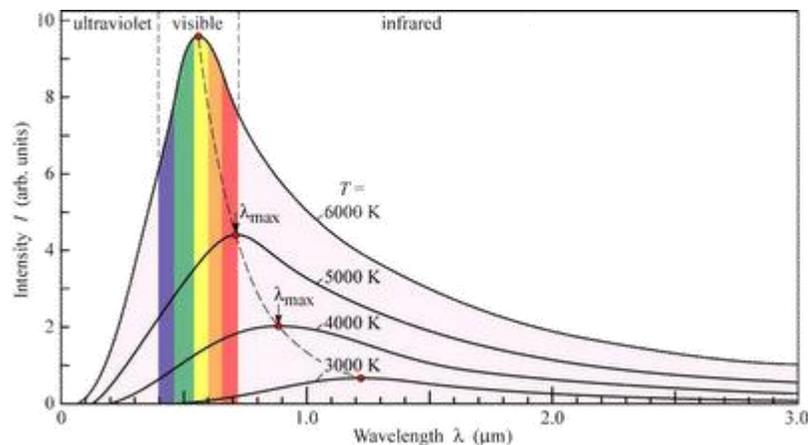
2.2. Radiasi Benda Hitam

Para ilmuwan fisika pada akhir abad ke-19 banyak yang percaya bahwa struktur teori fisika sudah cukup lengkap, namun cukup banyak juga yang menunjukkan bahwa hasil eksperimen tidak dapat dijelaskan oleh fisika klasik. Hal ini mengarahkan pada pengembangan teori kuantum dan teori relativitas. penjelasan struktur atom, dan spectrum atom harus didasarkan pada teori kuantum. Salah satu kelemahan fisika klasik adalah kesalahan memprediksi nilai c_v dari molekul poliatom melalui teori kinetik gas. Kelemahan kedua adalah ketidakmampuan fisika klasik dalam menjelaskan distribusi frekuensi energi radiasi benda hitam seperti ditunjukkan pada gambar berikut ini (**Levine, Ira.N, 2009**).



Gambar II.2. Eksperimen Radiasi Benda Hitam

Dalam eksperimen diperoleh bahwa setiap benda padat memancarkan radiasi dengan kecepatan yang berbeda untuk setiap benda pada suhu yang sama yang dapat dijelaskan melalui konsep radiasi benda hitam. Benda hitam adalah benda yang dapat menyerap semua gelombang elektromagnetik yang lahir dari gelombang hasil osilasi medan magnet dengan medan listrik yang memiliki frekuensi ν dan panjang gelombang λ dari gelombang elektromagnetik pada keadaan vakum yang dihubungkan dengan radiasi yang jatuh padanya. sebuah pendekatan untuk benda hitam ini adalah sebuah rongga dengan lubang yang sangat kecil. Hal ini dapat menunjukkan bahwa kecepatan pancaran radiasi persatuan luas permukaan benda hitam merupakan fungsi dari suhu dan tidak tergantung pada jenis bahan dasar yang membentuk benda hitam tersebut.



Gambar II.3. Intensitas Radiasi Benda Hitam

Reyleigh berhasil merumuskan persamaan teoritis untuk distribusi frekuensi ($R(\nu)$) pada

tahun 1900, dengan menggunakan teori energi ekuipartisi dari fisika klasik, yaitu (**Zimmerman., R.L , 1995**):

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (2.5)$$

dimana $I(\nu, T)$ adalah jumlah energi per satuan luas permukaan, per satuan waktu, per satuan sudut padat, per satuan frekuensi, yang dipancarkan benda hitam pada frekuensi ν . Dimana, T adalah temperatur tubuh hitam, h adalah tetapan Planck, c adalah kecepatan cahaya, dan k adalah konstanta Boltzmann.

Hasil eksperimen dari persamaan (5) terlihat sangat ganjil karena rumus ini memprediksikan bahwa jumlah energi radiasi akan meningkat terus tanpa batas ketika ν meningkat. Namun, pada kenyataannya, $R(\nu)$ akan mencapai titik maksimum dan akan turun kembali menjadi nol pada waktu frekuensi ν bertambah. Melalui eksperimen ini fisika klasik gagal menjelaskan untuk memprediksi spektrum radiasi benda hitam. Pada tahun 1900, fisikawan Planck mengajukan formula baru untuk menjelaskan kurva radiasi benda hitam yang dikenal dengan formula Planck, yaitu (**Sadri Hassani, 2009**):

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (2.6)$$

Planck mengasumsikan bahwa dinding benda hitam mengandung muatan listrik yang berosilasi dan bervibrasi pada berbagai frekuensi. Untuk menurunkan persamaan distribusi frekuensi di atas, Planck menemukan bahwa osilasi muatan hanya mungkin dapat terjadi pada nilai diskrit $0, h\nu, 2h\nu, 3h\nu, \dots, nh\nu$, dimana ν adalah frekuensi dari osilator dan h adalah tetapan Planck.

Sedangkan kita ketahui bahwa pada fisika klasik, energi bersifat kontinu dimana sebuah sistem dapat melepaskan atau menerima energi dengan jumlah berapapun. Hal ini bertentangan dengan teori fisika klasik. Oleh karena itu Planck membatasi jumlah energi pada masing-masing osilasi muatan sehingga akan dapat membatasi jumlah energi pada masing-masing osilator yang dapat melepas atau menerima energi sebesar integral $h\nu$. Planck menyebut jumlah $h\nu$ itu sebagai energi kuantum yang terkuantisasi dan bersifat diskrit (**Levine, Ira. N, 2009**).

III. METODOLOGI

Penelitian simulasi ini setiap tema kajian fenomena fisika akan dimodelkan dan rumusan matematis yang digunakan akan dipecahkan menggunakan **METODE NUMERIK** kemudian realisasi perhitungan dan animasinya menggunakan **Pemrograman VBA**, yang tahap-tahap kegiatannya dapat disusun seperti langkah-langkah berikut ini (**Haibin Sun & Tingting Liu, 2010**).

- 1. Penelusuran tema-tema fenomena fisika menarik:** Sebagai prariset untuk mempersiapkan materi-materi kompleks terkini yang dapat dijadikan sebagai contoh simulasi.
- 2. Penelusuran metode numerik:** Menurut metode-metode numerik yang akan digunakan dalam pembuatan program simulasi: persamaan diferensial, bilangan random, akar persamaan, solusi matriks dan lain sebagainya.
- 3. Analisis formulasi topik:** Dipilih topik-topik fisika yang relevan untuk dikembangkan dalam riset ini. Salah satu yang akan dimasukkan adalah model gerak peluru interaktif, optik, gelombang.
- 4. Desain interaktif:** Model input dan output simulasi harus diatur sedemikian informatif, menarik dan luwes.
- 5. Pembuatan program:** Bagian terpenting dari riset ini adalah pembuatan program simulasi fisika berbasis VBA. Jadi dari konsep fisika yang ada lalu diperoleh formulasi matematikanya kemudian dicari solusi numeriknya dan direalisasikan fenomenanya dalam bentuk program simulasi VBA.
- 6. Hardware:** Pada riset ini diperlukan dukungan perangkat komputer dan jaringan komputer/internet.
- 7. Integrasi Program Simulasi Dengan web:** Hasil Program Simulasi VBA akan diintegrasikan di website Universitas Terbuka. Hasil keseluruhan penelitian ini akan dijadikan sebagai Laboratorium Virtual yang nantinya disediakan di website UT yang dapat diakses oleh mahasiswa maupun dosen.

Secara ringkas Penelitian ini akan didesain seperti Diagram Alir berikut ini:



Gambar III.1 Diagram alir kegiatan penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini beberapa topik/tema simulasi fenomena fisika telah dipilih yaitu: Topik Fisika Mekanika meliputi Gerak jatuh Bebas dan Gerak Peluru, Topik Fisika optika geometri pembentukan bayangan pada lensa, Topik Fisika gelombang, Topik distribusi rapat energi Max Planck. Penelitian dimulai dari pendalaman materi VBA untuk desain animasi. Selanjutnya hasil animasi VBA fisika adalah sebagai berikut.

4.1. Desain Simulasi Gerak Jatuh Bebas

Sebagai aplikasi sederhana VBA untuk simulasi fisika maka diambil tema Gerak Jatuh Bebas yang merupakan kajian fisika mekanika yang diajarkan pada tahun-tahun awal perkuliahan. Gerak jatuh bebas mempunyai rumusan berikut (<http://www.phys.virginia.edu/classes/581/>).

Gerak Jatuh Bebas Tanpa Hambatan Udara

Misalkan sebuah batu dijatuhkan dari puncak menara dengan ketinggian tertentu H . Selanjutnya jika percepatan gravitasi bumi adalah g , ketinggian batu dari permukaan bumi tepat setelah bola jatuh bebas adalah x , dan kecepatan jatuh batu adalah v maka berlaku (Michael T.

Vaughn, 2007):

$$F = ma = m \frac{dv}{dt} = mg \quad (4.1)$$

Selanjutnya,

$$dv = g \cdot dt \quad (4.2)$$

Dalam simulasi sering sebuah integrasi dilakukan secara diskretisasi, sehingga bentuk numerik dari pers.(3.2) adalah:

$$\Delta v = g \cdot \Delta t \quad (4.3)$$

Atau

$$(v_2 - v_1) = g \cdot (t_2 - t_1) \quad (4.4)$$

Atau

$$v_2 = v_1 + g(t_2 - t_1) \quad (4.5)$$

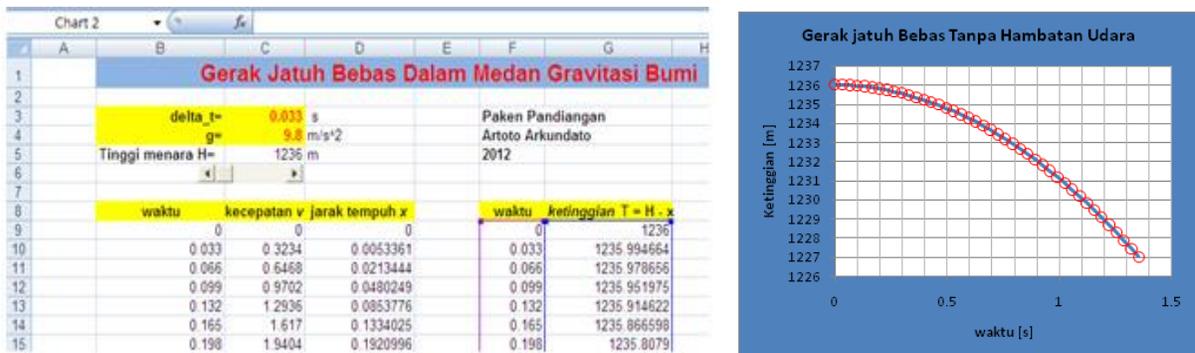
Sedangkan untuk gerak dengan percepatan konstan kita boleh menggunakan rumusan bahwa jarak jatuh sama dengan interval waktu dikalikan rata-rata kecepatan sesudah dan sebelumnya, sehingga jarak seluruhnya yang ditempuh mulai dari titik awal adalah yaitu:

$$x = x_1 + \frac{1}{2}(v_1 + v_2) \cdot (t_2 - t_1) \quad (4.6)$$

Pada rumusan pers.(3.6) maka titik awal adalah pada ketinggian $x = H$ sehingga jika ingin mengetahui ketinggian T batu dari permukaan bumi selama batu bergerak adalah:

$$T = H - x \quad (4.7)$$

Realisasi model fisis dan matematis kedalam VBA memerlukan isian formula ke dalam cell-cell Excell untuk variabel dan konstanta apa saja yang diperlukan dalam perhitungan, yaitu g , Δt , t , v , x . Selanjutnya kita harus menuliskan variabel-variabel ini dan tempat nilainya dalam cell-cell Excel. Hasil-hasil desain simulasi gerak peluru adalah seperti gambar-gambar berikut:



Grafik 4.1 Desain Cell-Cell untuk Gerak jatuh Bebas dan hasil

4.2. Desain Simulasi Gerak Peluru

Pada fisika gerak peluru, sebagai gambaran sederhana untuk gerak peluru meriam yang ditembakkan dari suatu tempat ke depan dengan sudut tertentu terhadap tanah datar maka berbagai penyederhanaan dapat dilakukan, seperti misalnya mengabaikan hambatan udara yang muncul karena sifat kekentalan fluida udara yang berbeda atau karena adanya angin yang bergerak dengan kecepatan yang cukup tinggi dengan arah yang berlawanan dengan arah gerak peluru. Dengan simulasi VBA maka faktor hambatan udara dapat dimunculkan dan solusi persamaan gerak yang dipecahkan secara numerik menjadi lebih mudah dilakukan, sementara gerak peluru yang terjadi dapat diikuti secara real-time.

Dari pelajaran mekanika kita mengetahui bahwa untuk gerak peluru yang ditembakkan pada sudut θ dengan kecepatan awal v_i maka dalam perjalanannya gerak peluru dapat digambarkan dengan (A. Arkundato, et al, 2009):

$$x_f = x_i + v_{xi}t + \frac{1}{2}a_x t^2 \quad \text{dan} \quad v_{xf} = v_{xi} + a_x t \quad (4.8)$$

Dan

$$y_f = y_i + v_{yi}t + \frac{1}{2}a_y t^2 \quad \text{dan} \quad v_{yf} = v_{yi} + a_y t \quad (4.9)$$

Untuk gerak peluru tanpa hambatan udara maka kita dapat menuliskan:

$$a_y = -g \quad \text{dan} \quad a_x = 0 \quad (4.10)$$

Sehingga jika diambil pendekatan pada saat awal ($i = \text{initial}$) $t = 0$, $x_i = y_i = 0$, dan dengan memecah kecepatan menjadi komponen-komponennya dalam bentuk fungsi sudut:

$$v_{xi} = v_i \cos(\theta_i) \quad \text{dan} \quad v_{yi} = v_i \sin(\theta_i) \quad (4.11)$$

Maka kita mendapatkan relasi berikut:

$$x_f = v_{xi}t = v_i \cos(\theta)t \quad (4.12)$$

$$y_f = v_{yi}t + \frac{1}{2}a_y t^2 = (v_i \sin(\theta))t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (4.13)$$

Sebagai catatan dalam Excel fasilitas operator cos/sin dinyatakan dengan:

$$v_{xi} = v_i * \cos(\text{theta} * \text{PI}() / 180) \quad \text{dan} \quad v_{yi} = v_i * \sin(\text{theta} * \text{PI}() / 180). \quad (4.14)$$

Sekarang jika diasumsikan ada hambatan udara (*air resistance*) yang besarnya proporsional dengan kuadrat kecepatan (tanda negatif, karena melawan arah gerak peluru):

$$D \approx bv^2, \quad (4.15)$$

Dengan b adalah koefisien hambatan udara, v adalah laju gerak peluru dengan $v^2 = v_x^2 + v_y^2$. Dalam hal ini b adalah konstanta drag hambatan udara, yang nilainya dapat didekati dengan:

$$b = \rho CA/2 \quad (4.16)$$

dengan ρ adalah rapat udara, A adalah tampang lintang peluru, dan C adalah koefisien drag. Nilai-nilai ini harus diukur secara eksperimen. Selanjutnya gaya hambatan udara adalah (tanda negatif untuk menunjukkan bahwa hambatan udara cenderung mengurangi laju gerak peluru):

$$\vec{f} = -Dv\vec{v} \quad (4.17)$$

Yang dapat dipisah menjadi komponen-x dan komponen-y:

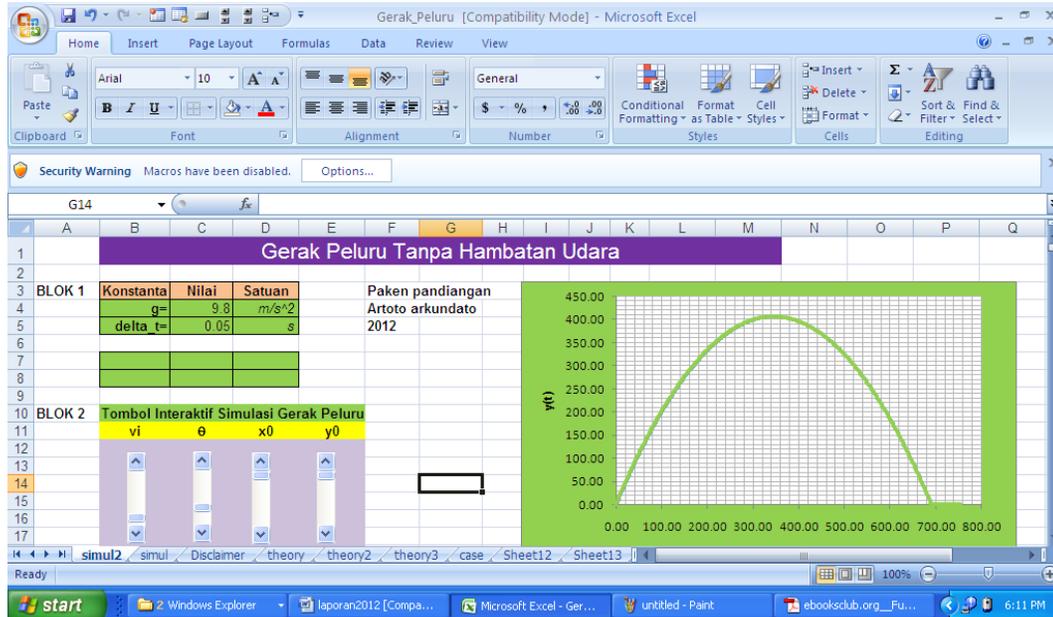
$$f_x = -Dvv_x \quad \text{and} \quad f_y = -Dvv_y \quad (4.18)$$

Selanjutnya total gaya F yang dialami oleh peluru selama bergerak dalam udara dengan hambatan tertentu, adalah (Halliday Resnick, 2009):

$$\sum F_x = -Dvv_x = ma_x \quad \sum F_y = -mg - Dvv_y = ma_y \quad (4.19)$$

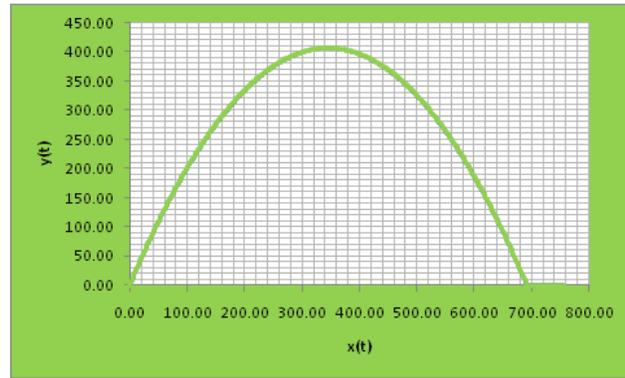
$$a_x = -Dvv_x/m \quad a_y = -g - Dvv_y/m \quad (4.20)$$

Untuk mendesain simulasi gerak peluru dari layar Excel maka kita pilih cell-cell yang akan digunakan sebagai tempat isian input maupun blok-blok untuk grafik animasi.



Gambar 4.2 Gerak Peluru Tanpa Hambatan Udara

	A	B	C	D
20				
21	BLOK 3	waktu	x	y
22	Initial	0.00	0.00	0.00
23		0.05	1.90	4.45
24		0.10	3.79	8.88
25		0.15	5.69	13.28
26		0.20	7.58	17.66
27		0.25	9.48	22.02
28		0.30	11.37	26.35
29		0.35	13.27	30.65
30		0.40	15.16	34.93
31		0.45	17.06	39.19
32		0.50	18.95	43.42
33		0.55	20.85	47.63
34		0.60	22.74	51.81
35		0.65	24.64	55.97
36		0.70	26.53	60.10
37		0.75	28.43	64.21



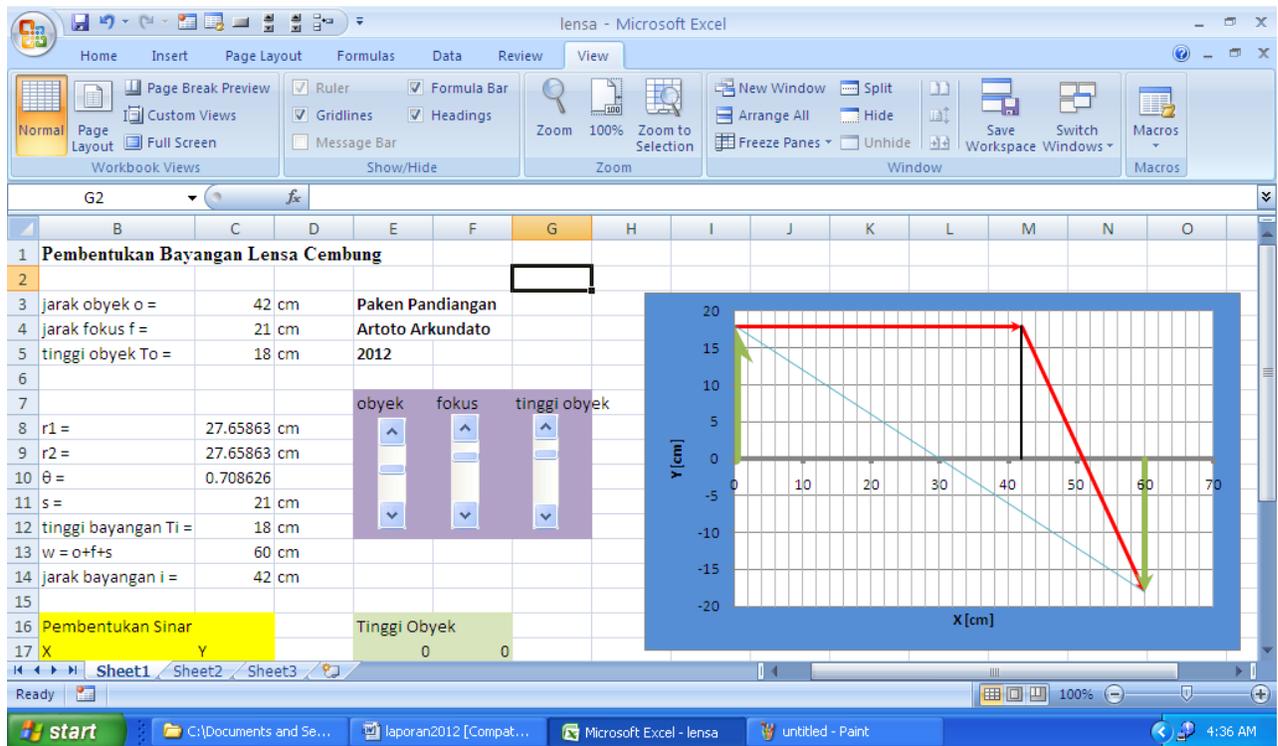
Gambar 4.3 Simulasi gerak peluru berbasis VBA dalam Excel

4.3. Desain Simulasi Optika Geometri

Untuk dapat menggambarkan pembentukan bayangan pada lensa cembung maka kita ingat kembali persamaan atau rumus lensa yaitu

$$1/o + 1/i = 1/f \quad (4.21)$$

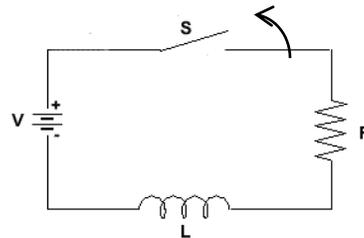
Untuk dapat menerapkan rumus tersebut pada lembar Excel dan menggambarkan sinar-sinarinya maka yang harus kita ingat adalah Excel memerlukan sebuah nilai (x,y) untuk menggambar titik, dan memerlukan dua buah titik (x1,y1) dan (x2,y2) untuk menggambar garis. Oleh karena itu kita harus selalu ingat kaidah ini. Kemudian untuk dapat menggambarkan sebuah bayangan dengan baik kita memerlukan dua buah sinar. Untuk itu kita ambil (1) sinar yang datang sejajar sumbu utama optik dan (2) sinar yang datang ke lensa dari obyek pada sudut sembarang dan dibiaskan ke titik bayangan. Hasil dari desain animasi optika adalah sebagai berikut.



Gambar 4.4. Desain input simulasi Optik pemantulan pada cermin cembung

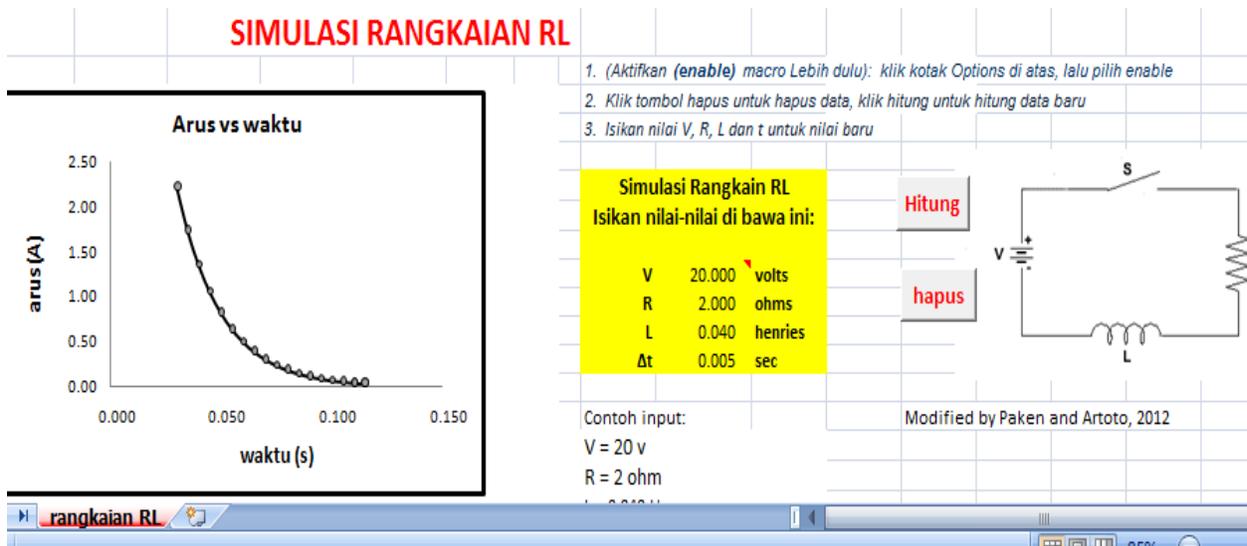
4.4. Desain Simulasi Rangkaian RL

Pada simulasi ini akan dipelajari apa yang terjadi jika saklar pada rangkain RL di buka dan ditutup.



Gambar 4.5. Rangkaian RL

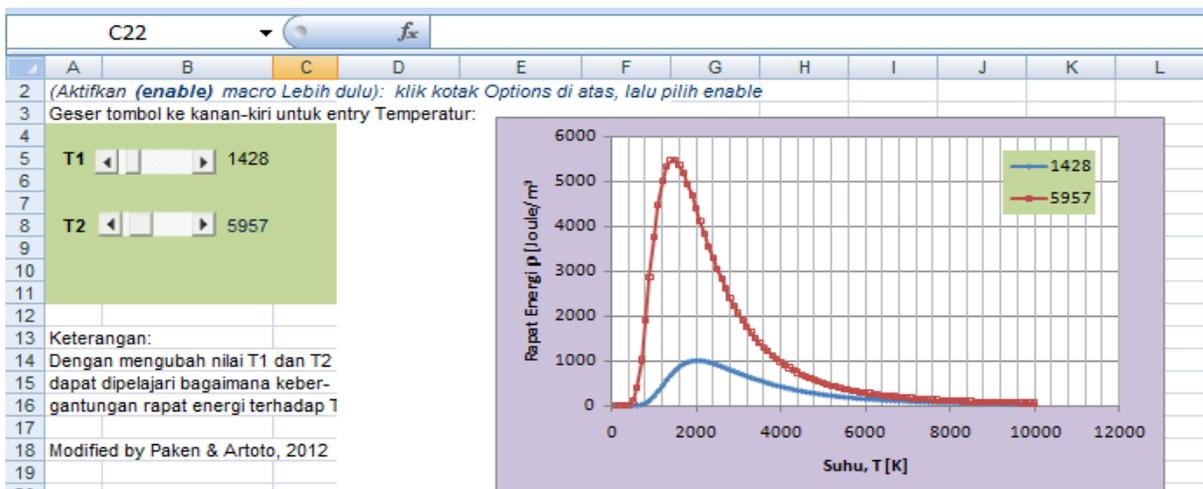
Pada gambar di atas V adalah tegangan, S adalah saklar, R adalah tahanan dan L adalah inductor. Hasil animasi VBA untuk rangkaian RL adalah sebagai berikut:



Gambar 4.6. Model animasi VBA untuk rangkain RL

4.5. Desain Simulasi Radiasi Benda Hitam

Distribusi Planck adalah salah satu pijakan penting pada rumusan mekanika kuantum. Distribusi Planck menggambarkan distribusi rapat energy terhadap perubahan suhu. Penjelasan untuk fenomena ini adalah termasuk gagasan adanya kuantisasi energi. Pembuatan program simulasi untuk Distribusi Planck dapat ditampilkan seperti gambar berikut:



Gambar 4.7. Radiasi Benda Hitam

Dari simulasi yang ditampilkan pada gambar tersebut tampak bahwa dinding benda hitam mengandung muatan listrik yang berosilasi dan bervibrasi pada berbagai frekuensi. Dengan mengubah nilai T1 dan T2, maka kita dapat melihat grafik ketergantungan rapat energy terhadap suhu. Hasil ini sangat cocok dengan penemuan Planck bahwa osilasi muatan hanya mungkin dapat

terjadi pada nilai diskrit $0, h\nu, 2h\nu, 3h\nu, \dots, nh\nu$. Sedangkan pada fisika klasik, energi bersifat kontinu dimana sebuah sistem dapat melepaskan atau menerima energi dengan jumlah berapapun. Hal ini bertentangan dengan teori fisika klasik. Oleh karena itu Planck membatasi jumlah energi pada masing-masing osilasi muatan sehingga akan dapat membatasi jumlah energi pada masing-masing osilator yang dapat melepas atau menerima energi sebesar integral $h\nu$ sebagai energi kuantum yang terkuantisasi dan bersifat diskrit.

IV. PENUTUP

Pada penelitian ini beberapa fenomena fisika dimodelkan dalam bentuk animasi VBA yang ditujukan sebagai model pembelajaran fisika dry lab. Dengan mendisain animasi dengan isian input yang dapat divariasikan secara interaktif menggunakan tombol scrollbar dari Excel VBA maka perilaku/gejala fisika ditampilkan secara menarik untuk mempermudah mahasiswa/users dalam mempelajari konsep-konsep fisika. Keunggulan animasi VBA dibanding dengan animasi yang lain adalah VBA yang berbasis Excel mudah dipelajari karena secara umum users sudah familiar dengan Excel dan pada umumnya Office Windows banyak diinstall dikomputer-komputer sekolah atau laboratorium. Penanaman animasi VBA ke dalam Website dapat digunakan sebagai media Online jarak jauh.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. **Artoto Arkundato, Paken Pandiangan**, Application of Visual Basic Application Program (VBAP) for an Interactive instruction in Open and Distance Learning (IODL), ICDE conference, Denpasar Bali, 2011.
- [2] **A. Arkundato**, Z. Suud, M. Abdullah, Corrosion study of Pure Fe in a stagnant liquid Pb by Molecular Dynamics simulation, International Seminar ICANSE, Hotel Grand Aquila, Bandung, November 2009.
- [3]. **Haibin Sun & Tingting Liu**, The Survey and Analysis of Excellent Senior High School Physics Teachers' Professional Growth Actuality, International Education Studies Vol. 3, No. 3; www.ccsenet.org/ies, August 2010.
- [4]. **Halliday Resnick**, Fundamental of Physics, 8th Edition, 2009
- [5]. (<http://www.tuition.com.hk/physics.htm>).
- [6]. **Ivan Dimov Stefka Dimova, Natalia Kolkovska**, Numerical Methods and Applications, 7th International Conference, NMA 2010, Borovets, Bulgaria, August 20-24, 2010.

- [7]. **Levine, Ira.N.**, Sixth edition Physical Chemistry. New York: McGraw-Hill, 2009.
- [8]. **Michael T. Vaughn**, Introduction to Mathematical Physics, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2007.
- [9]. **Sadri Hassani**, Mathematical Methods For Students of Physics and Related Fields, Springer, 2009.
- [10]. **Zimmerman., R.L.**, Mathematica for Physics, Addison-Wesley, 1995.