

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN KERJASAMA ANTAR PERGURUAN TINGGI
(PEKERTI)**



**DESAIN INOVATIF MODEL BELAJAR MENGAJAR FISIKA BERBASIS
METODE DINAMIKA MOLEKUL UNTUK MENJELASKAN PROSES-
PROSES FISIKA MIKROSKOPIK**

Tahun ke 2 dari rencana 2 tahun

Heni Safitri,S.Pd.,M.Si. (NIDN. 0010037706)

Herawati,S.Pd.,M.Si (NIDN. 0009127709)

Dr. Artoto Arkundato,S.Si.,M.Si. (NIDN. 0025126901)

Drs.Sudarko,Ph.D (NIDN. 0012036905)

UNIVERSITAS TERBUKA

DESEMBER 2014

HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN KERJASAMA ANTAR UNIVERSITAS

Judul Kegiatan : Desain Inovatif Model Belajar Mengajar Fisika Berbasis Metode Dinamika Molekul untuk Menjelaskan Proses-proses Fisika Mikroskopis

Kode>Nama Rumpun Ilmu : 773/ Pendidikan Fisika

Ketua Peneliti :

A. Nama Lengkap : HENI SAFITRI, S.Pd., M.Si.
B. NIDN : 0010037706
C. Jabatan Fungsional : Lektor
D. Program Studi : Pendidikan Fisika
E. Nomor HP : 081908082432
F. Surel/(e-mail) : henip@ut.ac.id

Anggota Peneliti :

A. Nama Lengkap : HERAWATI, S.Pd.,M.Si.
B. NIDN : 0009127709
C. Perguruan Tinggi : Universitas Terbuka

Ketua TPM :

A. Nama Lengkap : Dr. ARTOTO ARKUNDATO, M.Si.
B. NIDN : 0025126901
C. Jabatan Fungsional : Lektor
D. Nama Perguruan Tinggi : Universitas Jember
E. Program Studi : Fisika

Anggota TPM :

A. Nama Lengkap : Drs. SUDARKO, Ph.D.
B. NIDN : 0012036905
C. Perguruan Tinggi : Universitas Jember

Lama Penelitian Keseluruhan : 2 tahun
Penelitian Tahun ke : 2
Biaya Penelitian Keseluruhan : Rp.120.000.000,00
Biaya Tahun Berjalan : - diusulkan ke DIKTI Rp.60.000.000,00

Mengetahui,
Dekan FKIP-UT,



(Drs. UDAN KUSMAWAN, M.A.,Ph.D.)
NIP/NIK 196904051994031002

Tangerang Selatan, 8 Desember 2014
Ketua Peneliti,



(HENI SAFITRI S.Pd., M.Si.)
NIP/NIK 197703102002122002

Menyetujui,
Ka. LPPM-UT



(KRISTANTI AMBAR PUSPITASARI, M.Ed., Ph.D.)
NIP/NIK 196102121986032001

RINGKASAN

Proses-proses fisika fundamental mikroskopis yang melibatkan interaksi atom-atom sulit sekali diamati dengan mata telanjang. Hal ini karena perangkat pengamatan yang memadai belum ada atau sulit untuk dibuat dan tidak murah. Oleh karena itu pada umumnya pengajaran fisika terutama di SMA untuk proses-proses yang melibatkan atom-atom (abstrak) belum mampu dilakukan di laboratorium sekolah. Hal ini berpotensi gambaran proses mikro fisika yang diajarkan kurang difahami dan dimengerti siswa. Metode dinamika molekul merupakan salah satu metode komputasi dalam fisika yang populer untuk mensimulasikan gerak partikel, atom, molekul sampai untuk obyek berukuran besar seperti planet dalam galaksi. Dengan metode dinamika molekul gerak atom-atom suatu cairan dapat diprediksi dengan baik bahkan dapat divisualisasikan dengan sangat menarik dan informatif. Penelitian ini bertujuan untuk merancang model pembelajaran interaktif untuk mata pelajaran fisika khususnya mengenai konsep fisika misalkan perubahan wujud zat dengan besaran fisis titik leleh (*melting point*), yang merupakan informasi sangat penting dari fenomena tersebut. Kelebihan dari model pembelajaran ini adalah siswa dapat lebih memahami gambaran mikroskopik seperti struktur bahan selama proses perubahan wujud zat, pergerakan atom-atom selama proses pelelehan dapat dianalisis dan diperagakan secara visual. Dengan model pembelajaran yang interaktif dan inovatif ini maka diyakini akan memberi dampak meningkatkan minat dan kemampuan siswa dalam memahami salah satu konsep fisika tersebut dengan lebih baik. Penerapan metode dinamika molekuler di tingkat SMA sepengetahuan penulis belum banyak (pernah) dilakukan. Dengan memperkenalkan lebih dini salah satu metode komputasi ini, maka sekaligus juga akan menumbuhkan daya kreasi siswa SMA untuk mempelajari dan mengembangkan metode-metode fisika komputasi yang lain pada problem-problem fisika lain.

Kata Kunci: desain inovatif pembelajaran fisika, metode dinamika molekul, fisika mikroskopik

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya. Penelitian dengan judul “Desain Inovatif Model Belajar Mengajar Fisika Berbasis Metode Dinamika Molekul Untuk Menjelaskan Proses-Proses Fisika Mikroskopik” ini disusun selama kurang lebih dua puluh bulan (diluar masa penulisan proposal). Dilatar belakangi oleh ketertarikan Tim Peneliti terhadap perkembangan serta dampak yang besar ICT dalam dunia pendidikan, akhirnya penelitian ini dapat selesai tepat pada waktunya setelah juga memperoleh berbagai saran, kritik, dan masukan dari kalangan rekan sejawat di Universitas Terbuka (UT) dan Universitas Jember (UNEJ).

Ucapan Terimakasih dari Tim Peneliti dihaturkan kepada Dikti dan Rektor Universitas Terbuka beserta jajarannya yang telah mengizinkan kami turut berpartisipasi dalam Hibah Penelitian Pekerti. Terimakasih juga kami sampaikan kepada Ketua LPPM UT beserta stafnya yang selalu membantu tim Peneliti dalam sisi administratif penelitian. Selanjutnya terimakasih diucapkan Tim Peneliti kepada Kepala Pusat Komputer dan Jurusan Fisika di Universitas Jember serta beserta jajaran dan stafnya, karena atas bantuan Beliau-Beliau-lah kami dapat memperoleh informasi yang memadai sebagai intisari dari kegiatan penelitian ini. Kepada pihak lain yang belum disebutkan karena keterbatasan, kami turut menyampaikan ungkapan terimakasih. Semoga segala budi baik yang ditujukan kepada kami dapat menjadi berkah bagi pihak-pihak bersangkutan.

Semoga laporan penelitian ini dapat dibaca dan dimanfaatkan dalam khasanah implementasi teknologi dan ilmu fisika dalam pengembangan mutu pendidikan di Indonesia pada umumnya di pendidikan menengah di Indonesia pada khususnya.

Tangerang Selatan, Desember 2014

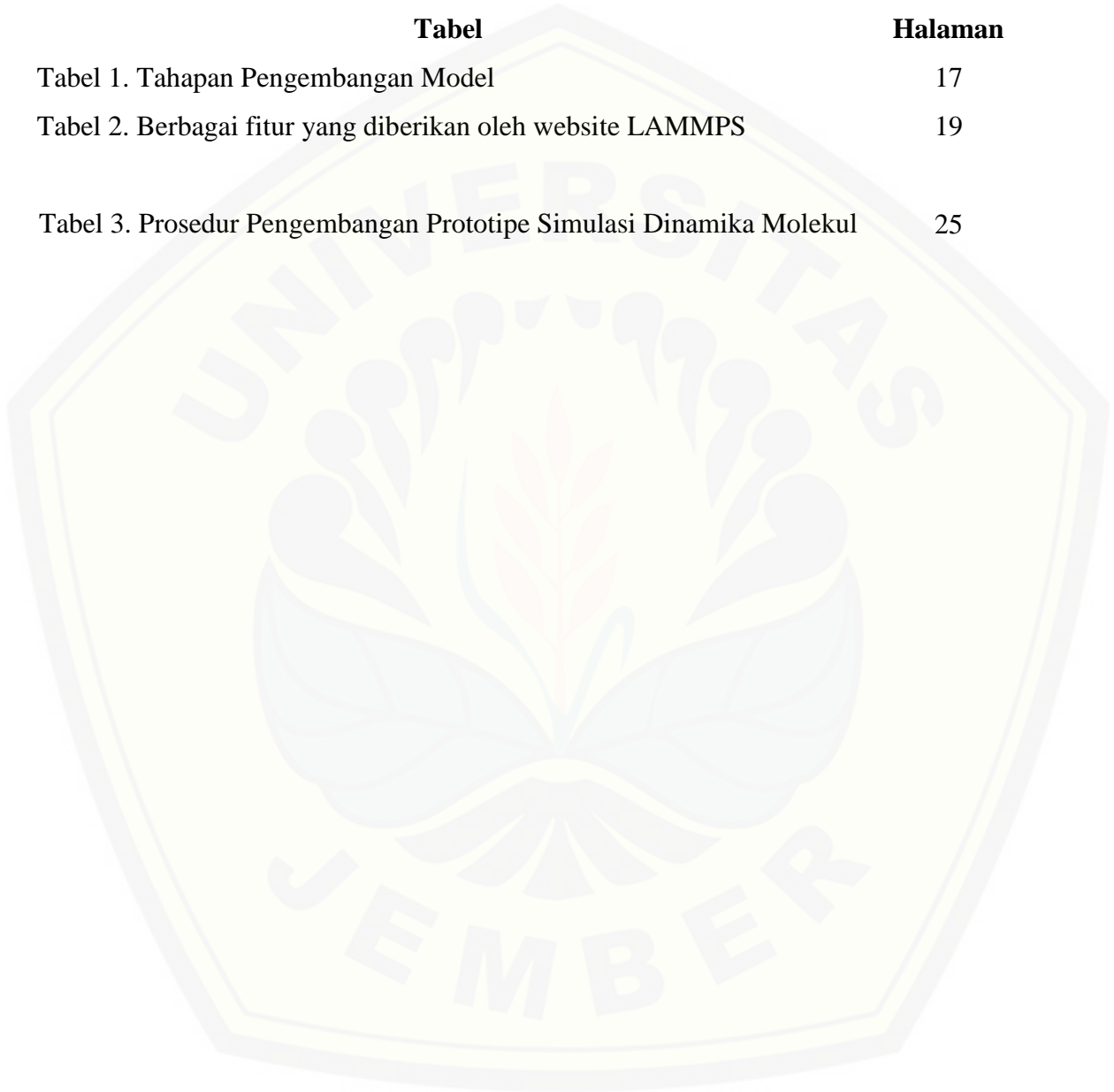
Tim Peneliti

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	1
HALAMAN PENGESAHAN	2
RINGKASAN	3
PRAKATA	4
DAFTAR ISI	5
DAFTAR TABEL	6
DAFTAR GAMBAR	7
DAFTAR LAMPIRAN	8
BAB 1. PENDAHULUAN	9
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	13
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	14
BAB 4. METODE PENELITIAN	15
BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN	
Lampiran 1. Instrumen	37
Lampiran 2. Personalia Tenaga Peneliti beserta Kualifikasinya	40
Lampiran 3. Publikasi	58

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Tahapan Pengembangan Model	17
Tabel 2. Berbagai fitur yang diberikan oleh website LAMMPS	19
Tabel 3. Prosedur Pengembangan Prototipe Simulasi Dinamika Molekul	25

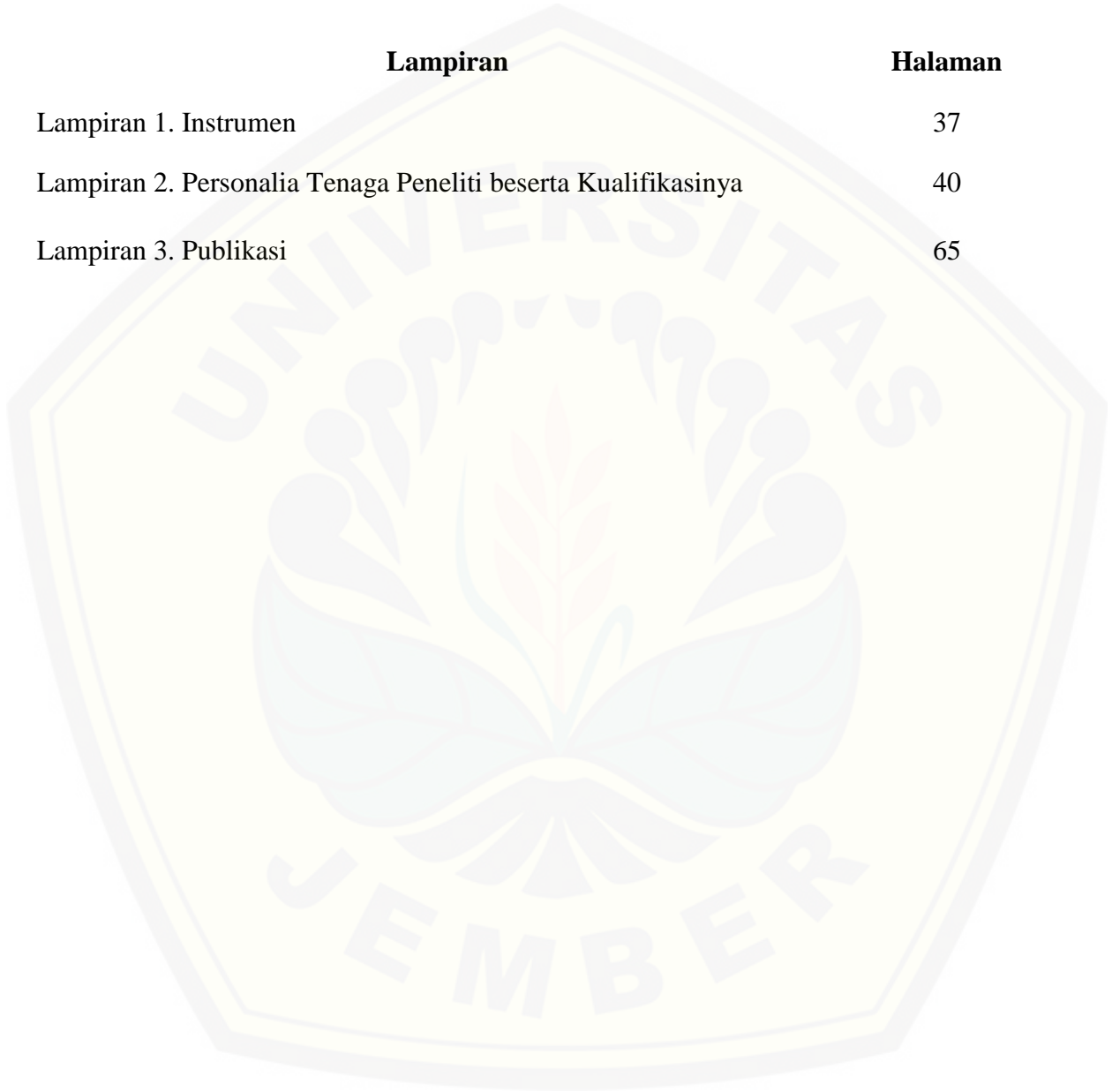


DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Prosedur Pengembangan Desain Simulasi Dinamika Molekul untuk Pembelajaran Fisika	18
Gambar 2. Diagram alir langkah-langkah pengembangan simulasi	20
Gambar 3. Tampilan step awal simulasi LAMMPS	26
Gambar 4. Grafik $T-E_T$ untuk perubahan fase padat-cair logam Al	27
Gambar 5. Konfigurasi awal logam Al struktur kristal FCC untuk simulasi (dengan code vizualisasi Jmol)	28
Gambar 6. Gambaran struktur mikro dari Aluminium untuk berbagai temperatur	29
Gambar 7. Struktur mikro Aluminium pada $T= 1950,51$ K pada step 130000	30
Gambar 8. Desain simulasi dinamika molekul wujud zat	31
Gambar 9. Hasil uji coba desain simulasi	32

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1. Instrumen	37
Lampiran 2. Personalia Tenaga Peneliti beserta Kualifikasinya	40
Lampiran 3. Publikasi	65



BAB 1. PENDAHULUAN

Proses-proses fisika tidak semuanya dapat diamati secara visual. Terutama proses-proses fisika fundamental mikroskopis yang melibatkan interaksi atom-atom sulit sekali diamati dengan mata telanjang. Hal ini karena perangkat pengamatan yang memadai belum ada atau sulit untuk dibuat dan tidak murah. Oleh karena itu pada umumnya pengajaran fisika terutama di SMA untuk proses-proses yang melibatkan atom-atom (abstrak) belum mampu dilakukan di laboratorium sekolah. Hal ini berpotensi gambaran proses mikro fisika yang diajarkan kurang difahami dan dimengerti siswa.

Metode dinamika molekul merupakan salah satu metode komputasi dalam fisika yang populer untuk mensimulasikan gerak partikel, atom, molekul sampai untuk obyek berukuran besar seperti planet dalam galaksi. Dengan metode dinamika molekul gerak atom-atom suatu cairan dapat diprediksi dengan baik bahkan dapat divisualisasikan dengan sangat menarik dan informatif. Secara ringkas metode simulasi dinamika molekul ini memerlukan informasi posisi-posisi (koordinat) awal partikel, atom atau obyek penyusun sistem sebelum simulasi, kondisi lingkungan yang akan disimulasikan (temperatur, tekanan, rapat partikel, dan lain-lain), fungsi potensial untuk interaksi antar partikel, atom, molekul atau obyek yang akan disimulasikan dan spesifikasi obyek yang disimulasikan (massa, muatan, jumlah atom, dan lain-lain). Pada dasarnya dinamika molekul memerlukan informasi yang akurat untuk fungsi potensial interaksi tersebut. Semakin akurat fungsi potensial yang menggambarkan interaksi antar partikel, atom dan molekul maka semakin akurat hasil simulasi yang kita dapatkan. Di lain pihak, metode dinamika molekul sebenarnya berangkat dari pemikiran menyelesaikan persamaan gerak Newton kedua ($\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$) untuk sistem dinamik yang dievaluasi dengan syarat awal yang diketahui, dengan gaya interaksi dapat diperoleh dari diferensial negatif fungsi potensial. Solusi persamaan gerak

Newton ini adalah *trayektori* sistem yaitu kumpulan koordinat partikel/atom/molekul yang membentuk lintasan gerak sepanjang waktu. Dengan demikian metode dinamika molekul secara prinsip dapat diterapkan untuk sistem yang sangat kecil (mikroskopis atomistik) sampai untuk sistem sangat besar seperti gerak planet menurut orbit tertentu. Berdasarkan informasi trayektori sistem dan teori fisika statistik selanjutnya dapat diprediksi besaran-besaran termodinamik sistem seperti temperatur akhir, tekanan akhir, energi total, enthalpi sistem dan sebagainya.

Pelajaran fisika adalah salah satu dari beberapa mata pelajaran yang dianggap sulit bagi siswa SMA. Salah satu prediksi mengapa siswa sulit mempelajari fisika adalah siswa dituntut harus dapat memahami fenomena fisis yang terjadi lebih dulu, kemudian baru berusaha memecahkan problem fisis terkait dengan rumusan matematika yang tepat dan solusinya. Dilain pihak minat siswa mempelajari fisika juga sangat ditentukan apakah siswa tertarik dengan konsep fisika yang diajarkan guru di sekolah. Untuk semua pelajaran, kesuksesan siswa mempelajari matapelajaran tentu juga bergantung pada minat siswa pada mata pelajaran itu sendiri. Hal ini seperti yang dikemukakan oleh Druxes dan Slemsen (1986) bahwa ada beberapa masalah pada pelajaran fisika antara lain: (a) Pelajaran fisika “tidak disukai“, (b) Pelajaran fisika itu berat, (c) Pelajaran fisika tidak “aktual“, (d) Pelajaran fisika itu eksperimental.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang model pembelajaran interaktif untuk mata pelajaran fisika khususnya mengenai konsep fisika perubahan wujud zat dengan besaran fisis titik leleh (*melting point*) yang merupakan informasi sangat penting dari fenomena tersebut. Kelebihan dari model pembelajaran ini adalah siswa dapat lebih memahami gambaran mikroskopik struktur bahan selama proses perubahan wujud zat, pergerakan atom-atom selama proses pelelehan dapat dianalisis dan diperagakan secara visual. Dengan model pembelajaran yang interaktif dan inovatif ini maka diyakini akan memberi dampak meningkatkan minat dan kemampuan siswa dalam memahami salah satu konsep fisika tersebut dengan lebih baik. Penerapan metode dinamika molekuler di tingkat SMA sepengetahuan penulis belum banyak (pernah)

dilakukan. Dengan memperkenalkan lebih dini salah satu metode komputasi ini, maka sekaligus juga akan menumbuhkan daya kreasi siswa SMA untuk mempelajari dan mengembangkan metode-metode fisika komputasi yang lain pada problem-problem fisika lain. Sebagai gambaran, kemajuan dan perkembangan sains dan teknologi modern tidak terlepas dari penerapan dan pengembangan metode-metode fisika komputasi yang menuntut solusi yang semakin kompleks yang hanya dapat ditangani oleh kemampuan komputasi dan komputer. Adapun penelitian yang relevan tentang simulasi dinamika molekul diwaktu yang lalu dan menunjukkan kesinambungan pemikiran dapat divisualisasikan sebagai berikut. Pertama, Artoto Arkundato,dkk (2009) meneliti tentang perhitungan koefisien difusi logam Fe dalam Pb cair dengan metode dinamika molekuler, kemudian dilanjutkan dengan Artoto Arkundato,et al. (2010) meneliti tentang *Corrosion study of Fe in a stagnant liquid Pb by molecular dynamics methods*. Sehingga untuk usulan penelitian selanjutnya diharapkan terdapat kesinambungan pemikiran dengan penelitian sebelumnya namun lebih diarahkan dalam dunia kependidikan yaitu simulasi metode dinamika molekul jika diterapkan untuk membantu pembelajaran dikelas.

Dari sekumpulan hasil-hasil penelitian tersebut nampak alur pemikiran dan kegiatan penelitian yang saat ini diusulkan merupakan kelanjutan dari penelitian yang sudah pernah dilakukan. Perlu disampaikan di sini bahwa disamping penelitian yang dilakukan oleh peneliti sendiri, banyak juga topik atau judul penelitian yang dilakukan oleh para peneliti lainnya yang nanti akan dikaji relevansinya. Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah : Bagaimana merancang pembelajaran fisika interaktif dengan menggunakan Metode Dinamika Molekul Kode dalam mata pelajaran fisika Sekolah Menengah Atas pada materi proses-proses fisika mikroskopik, Mengujicoba Metode Dinamika Molekul pada mata pelajaran fisika untuk siswa Sekolah Menengah Atas untuk materi yang berkaitan dengan proses-proses fisika mikroskopik. Materi yang ditampilkan dalam Metode Dinamika Molekul adalah materi fisika proses-proses fisika mikroskopik untuk Sekolah Menengah Atas sesuai dengan kurikulum yang berlaku. Pembelajaran

interaktif yang dibuat hanya dalam model tutorial dan simulasi. Pembelajaran interaktif Fisika yang dibahas dari sisi siswa. Materi pembelajaran fisika dalam bentuk tutorial dan simulasi.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Model Pembelajaran Fisika Interaktif

Model pembelajaran fisika yang tepat sangat diperlukan untuk dapat meningkatkan kemampuan siswa dalam memahami pelajaran fisika. Model tradisional yaitu memberikan pelajaran fisika di kelas dan di laboratorium secara umum sudah baik, namun banyak sekali proses-proses fisika yang tidak dapat diberikan kepada siswa dengan mudah seperti proses-proses atom (mikroskopis dan abstrak) yang tidak dapat dilihat dan diamati langsung oleh siswa di laboratorium, terutama karena alat yang digunakan untuk pengamatan tidak ada karena pada umumnya peralatan pengukuran proses-proses mikroskopis adalah sangat mahal. Untuk itu perlu ada rancangan model pembelajaran lain yang dapat membantu untuk pembelajaran proses-proses mikroskopis fisika selain model tradisional.

Pembelajaran fisika yang interaktif merupakan model pembelajaran yang diharapkan mampu meningkatkan minat belajar siswa. Secara umum pelajaran Fisika adalah pelajaran yang termasuk sulit dipelajari oleh siswa SMA. Hal ini karena menuntut siswa untuk memiliki kemampuan matematika sekaligus logika yang baik untuk dapat memahami dan menjelaskan proses-proses fisika yang terjadi. Dalam hal ini sering sekali gambaran proses fisika yang terjadi bersifat abstrak seperti halnya interaksi antar atom-atom selama terjadinya proses pelelehan zat. Untuk itu model pembelajaran yang bersifat interaktif dan memudahkan proses belajar-mengajar perlu dirancang. Salah satu model pembelajaran interaktif adalah penggunaan program komputer untuk dapat menghitung dan mensimulasikan proses fisika. Simulasi dinamika molekul adalah metode simulasi yang salah satunya dapat menggambarkan proses-proses mikroskopis atom dengan menggunakan program komputer yang dirancang.

B. Simulasi Dinamika Molekul dalam Fisika Mikroskopik

1. Persamaan Gerak dan Fungsi Potensial

Gerak partikel klasik dapat diprediksi evolusi gerakanya berdasarkan hukum gerak Newton yang kedua yang sangat terkenal yaitu,

$$m_i \ddot{\vec{r}}_i = \vec{F}_i \quad (1)$$

dengan \vec{F}_i adalah gaya total yang bekerja pada partikel ke i . Untuk sistem yang konservatif, gaya total tersebut dapat diturunkan dari fungsi potensial U ,

$$\vec{F}_i = -\frac{\partial U(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3, \dots, \vec{r}_N)}{\partial \vec{r}_i} \quad (2)$$

Potensial antar-atom (*interatomic potential*) $U(r)$ seperti telah disampaikan diatas adalah hal yang krusial untuk simulasi dinamika molekul. Problem fisis dengan demikian telah disederhanakan dengan hanya mencari rumusan yang tepat untuk *fungsi energi potensial* tersebut sebagai fungsi dari hanya koordinat-koordinat atom. Untuk sistem 3D, pers.(1) untuk N atom yang saling berinteraksi dapat dituliskan menjadi:

$$m_i \frac{d^2 \vec{r}_i(t)}{dt^2} = \vec{F}_i(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3, \dots, \vec{r}_N) \quad (3)$$

Dengan vektor jarak $\vec{r}_i = \{\vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i\}$ dan gaya yang bekerja pada atom ke i adalah $\vec{F}_i = \{F_i^x, F_i^y, F_i^z\}$ dengan $i = 1, 2, 3, \dots, N$. Dengan demikian dapat kita pisahkan $3N$ buah persamaan:

$$m_i \frac{d^2 x_i(t)}{dt^2} = F_i^x$$

(4a)

$$m_i \frac{d^2 y_i(t)}{dt^2} = F_i^y$$

(4b)

$$m_i \frac{d^2 z_i(t)}{dt^2} = F_i^z$$

(4c)

Percepatan partikel selanjutnya dapat diberikan oleh persamaan berikut,

$$\vec{a}_i = \frac{d\vec{v}_i}{dt} = \frac{d^2\vec{r}_i}{dt^2} = \ddot{\vec{r}}_i = \vec{F}_i/m_i \quad (5)$$

Berdasarkan pers.(1) atau (4) maka trayektori sistem $\{(\vec{r}_i, t)\}$ dapat diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan orde dua tersebut, dengan memberikan posisi-posisi awal semua atom dan juga kecepatan-kecepatan awal atom. Pada umumnya potensial untuk sistem material adalah rumit sehingga persamaan gerak Newton perlu dipecahkan secara numerik. Berdasarkan Ackland (2011) salah satu fungsi potensial yang sangat terkenal yang sering digunakan adalah *potensial Lennard-Jonnes* yang dapat dikonversi menjadi gaya berbentuk



The diagram shows two particles, labeled 'i' and 'j', with a distance 'r' between them. A force vector F_{ij} is shown pointing from particle 'i' towards particle 'j'. A potential energy curve V_{ij} is shown below the force curve, with a minimum energy value ϵ indicated. The equation number (6) is on the right.

Pada persamaan tersebut r adalah jarak antar partikel/atom/molekul ke i dan j , σ adalah parameter potensial untuk jarak, dan ϵ adalah parameter potensial untuk energi.

Untuk menggambarkan interaksi antar atom-atom logam, digunakan fungsi potensial EAM (embedded atomic methods). Fungsi potensial ini merupakan energi potensial yang diformulasikan cocok untuk logam [9] yang berbentuk,



The diagram shows two particles, labeled 'i' and 'j', with a distance 'r_{ij}' between them. A potential energy curve V_{ij} is shown below the force curve, with a minimum energy value ϵ indicated. The equation number (7) is on the right.

Dengan r_{ij} adalah jarak antaran atom ke i dan j , $\phi_{\alpha\beta}$ adalah fungsi potensial pasangan, ρ_{β} adalah kontribusi untuk rapat muatan elektron dari atom j tipe β pada lokasi atom i , dan F adalah fungsi (embedding) yang menggambarkan energi yang diperlukan untuk menempatkan atom i tipe α ke dalam awan elektron. Untuk menyederhanakan problem, maka perhitungan hanya diperhitungkan untuk radius tertentu dari sekian banyak atom dan elektron yang ada. Untuk sistem dari satu jenis elemen, seperti yang dilakukan pada penelitian ini, maka ada tiga fungsi scalar yang harus ditentukan: Fungsi interaksi pasangan, fungsi embedding dan fungsi kontribusi

awan elektron. Untuk sistem alloy dua jenis elemen maka potensial EAM memerlukan tujuh fungsi: tiga untuk interaksi pasangan (A-A, A-B, B-B), dua fungsi embedding, dan dua fungsi kontribusi awan elektron. Umumnya fungsi-fungsi ini diberikan dalam format tabel. Berdasarkan IPRP (2012) Berbagai potensial EAM untuk logam dapat diunduh dari website NIST [10].

Selanjutnya yang tak kalah penting adalah algoritma yang digunakan untuk memecahkan secara numerik persamaan gerak partikel, pers.(4). Salah satu algoritma yang digunakan adalah algoritma *Verlet-Velocity* yang sangat populer dimana kecepatan, percepatan dan posisi dihitung bersama pada waktu t :

$$r(t + \Delta t) = r(t) + v(t)\Delta t + \frac{1}{2}a(t)\Delta t^2 \quad (8)$$

$$v(t + \Delta t) = v(t) + \frac{1}{2}[a(t) + a(t + \Delta t)]\Delta t \quad (9)$$

dengan Δt adalah selisih waktu antara dua posisi yang berturutan (*time mesh*), a adalah percepatan dan v adalah kecepatan. Percepatan didefinisikan berdasarkan pers.(5).

2. Metode Dinamika Molekul

Metode MD adalah termasuk metode simulasi atom yang menelaah fenomena mikroskopis (atom) menggunakan pendekatan makroskopik (menggunakan hukum Newton). Dinamika molekul adalah salah satu bentuk simulasi atomistik, yaitu menggambarkan atom-atom dan molekul-molekul yang berinteraksi dalam periode waktu tertentu berdasarkan rumusan fundamental fisika tertentu, untuk memberikan satu gambaran gerak atom-atom tersebut. Sistem kompleks dapat mengandung sejumlah besar atom, yang secara analitik persamaan matematik yang mengaturnya sulit/tidak mungkin dipecahkan, namun dengan pendekatan numerik MD dapat ditangani. Oleh karena itu simulasi MD menjembatani antara “teori” dan “eksperimen” dan dapat dipandang sebagai “eksperimen virtual”. Dinamika molekul adalah disiplin khusus dari pemodelan molekul dan simulasi komputer, dan

ditangani berdasarkan mekanika statistik. Secara mendasar simulasi MD sangat bergantung pada bentuk **fungsi potensial** yang digunakan untuk mewakili model interaksi sistem. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamics_\(mechanics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamics_(mechanics))).

Dalam metode dinamika molekul, maka hal yang paling pokok adalah bagaimana memecahkan persamaan gerak newton ($\mathbf{F} = m\mathbf{a}$) secara numeric yang sesuai dengan sistem yang sedang diteliti. Dalam hal ini gaya untuk sistem yang konservatif dapat diperoleh dari rumusan potensial sistem. Ada berbagai bentuk fungsi potensial dan yang paling sederhana adalah **potensial setangkup** (*pair potential*) sehingga energi potensial total dapat diambil sebagai jumlah dari kontribusi energi pasangan-pasangan atom. Salah satu contoh potensial ini yang sering digunakan adalah **potensial Lennard-jones**.

BAB 3. TUJUAN PENELITIAN DAN MANFAAT PENELITIAN

A. Tujuan Penelitian

- 1) Sebagai alat bantu visual untuk membantu guru dalam menjelaskan proses-proses fisika mikroskopik pada pembelajaran fisika
- 2) Sebagai panduan dan pelengkap dalam proses kegiatan belajar mengajar fisika khususnya proses-proses fisika mikroskopik untuk siswa Sekolah Menengah Atas.
- 3) Sebagai alat bantu siswa dalam belajar yang dapat digunakan secara mandiri.
- 4) Pengganti sarana alat bantu eksperimen yang tidak tersedia di laboratorium.

Luaran penelitian terdiri atas

- 1) prototipe media pembelajaran fisika yang berupa simulasi yang dapat diterapkan dalam pembelajaran fisika di SMA,
- 2) makalah yang akan disajikan pada seminar nasional di dalam negeri, dan
- 3) artikel yang dimuat di jurnal nasional/internasional.

B. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian adalah

- (1) merupakan sumbangan pemikiran untuk bidang fisika dan pembelajaran fisika,
- (2) sebagai bahan masukan pengembangan bahan pengayaan dan bantuan belajar, khususnya untuk mata kuliah yang terkait dengan pembelajaran fisika, dan
- (3) latihan melakukan penelitian dan pengembangan kualifikasi dosen dalam bidang penelitian dan penulisan karya ilmiah.

BAB 3. METODE PENELITIAN

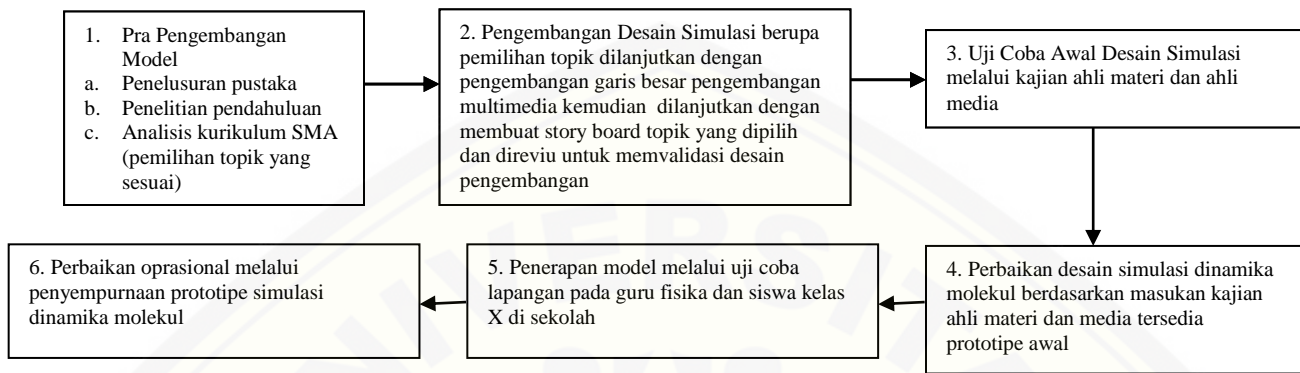
Penelitian ini merupakan penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) model pembelajaran, khususnya berupa melalui simulasi dinamika molekul untuk mata pelajaran fisika topik perubahan wujud benda. Penelitian & pengembangan (*Research and Development*) ini terdiri dari tiga tahap, dengan uraian penjelasan yang telah dimodifikasi dan diselaraskan dengan tujuan dan kondisi penelitian yang sebenarnya, seperti yang digambarkan secara ringkas pada tabel 1.

Tabel .1

Tahapan Pengembangan Model

Tahap	Langkah	Aktivitas
Pra Pengembangan Model	1	Penelusuran pustaka Penelitian pendahuluan Analisa kebutuhan
Pengembangan Model	2	Pembuatan Desain Simulasi
Dikarenakan terbatasnya waktu untuk bagian tahap perbaikan model dilakukan pada tahun kedua penelitian		
Pengembangan Model	3	Uji Coba Awal Kajian ahli dengan ahli materi dan ahli media
	4	Perbaikan
Penerapan Model	5	Uji Coba Lapangan Uji coba pada guru fisika dan siswa kelas X di sekolah
	6	Perbaikan Operasional Penyempurnaan simulasi dinamika molekul

Rangkaian pengembangan model pembelajaran fisika yang menggunakan simulasi dinamika molekul tercantum pada gambar 1.



Gambar 1. Prosedur Pengembangan Desain Simulasi Dinamika Molekul untuk Pembelajaran Fisika

Untuk tahun kedua tahapan penelitian dilakukan dari uji coba awal desain sampai kepada penerapan. Perbaikan prototipe simulasi dinamika molekul dilakukan di 2 tempat, TPP dari bulan mei-november 2014 dan di TPM pada semester ganjil tahun ajaran 2014.

1. Pengembangan Simulasi

Metode simulasi yang salah satunya dapat menggambarkan proses-proses mikroskopik atom dirancang dengan menggunakan program komputer. Program simulasi dinamika yang digunakan adalah LAMMPS, yang dapat diunduh dari website <http://lammeps.sandia.gov>. Kode LAMMPS dipilih karena mempunyai banyak fasilitas untuk perhitungan-perhitungan besaran fisis yang ingin diketahui [11]. Berikut adalah tahapan pengembangan simulasi dan implementasinya serta diagram alur untuk mengoperasikan simulasi tersebut. Simulasi MD (*molecule dynamic*) umumnya mengandung beberapa tahapan: (a) Konstruksi model potensial interaksi $U(r)$ untuk sistem material, (b) Inisiasi posisi-posisi r_0 dan kecepatan-kecepatan v_0 (momentum), (c) Perhitungan gaya dan trayektori atom-atom dengan

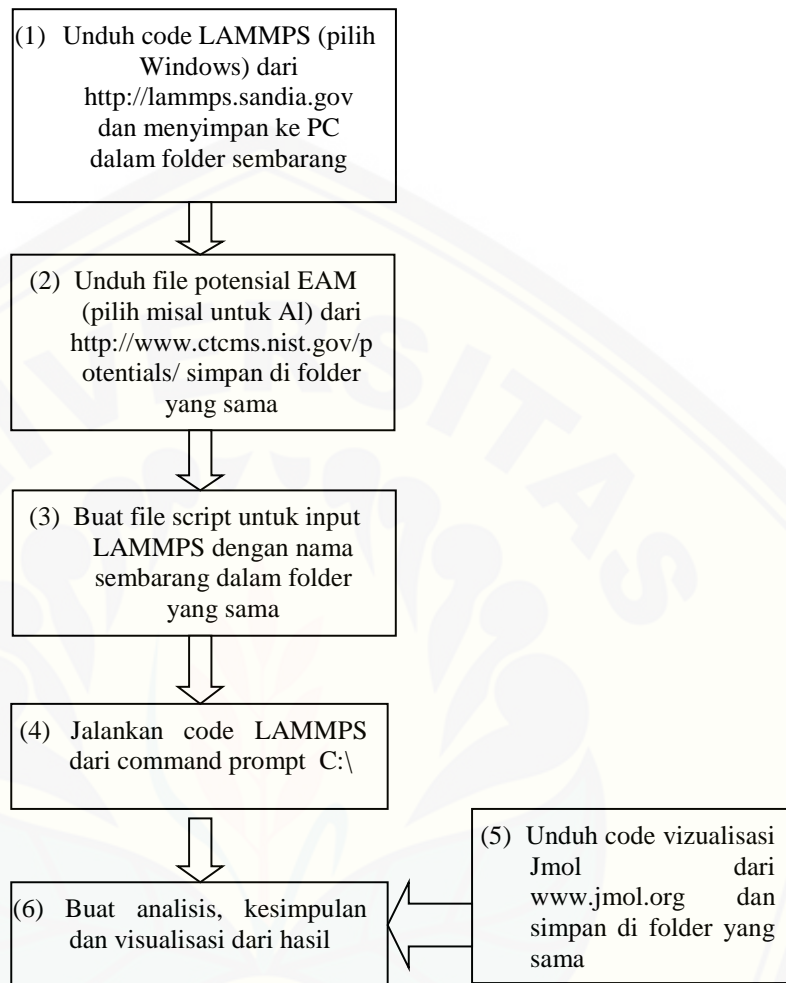
metode numerik, (metode Verlet) (d) Analisis trayektori-trayektori atom-atom sistem untuk mendapatkan besaran-besaran termodinamika/fisis yang diinginkan.

Pada penelitian ini untuk mensimulasikan sistem logam yaitu memecahkan persamaan gerak Newton dengan algoritma Verlet kita menggunakan code (program komputer) yang sudah diakui kehandalannya. Program simulasi dinamika yang digunakan adalah LAMMPS, yang dapat diunduh dari website <http://lammps.sandia.gov>. Menurut Plimpton,S. (1995) Kode LAMMPS dipilih karena mempunyai banyak fasilitas untuk perhitungan-perhitungan besaran fisis yang ingin diketahui . Tabel 2 adalah berbagai fitur dalam website LAMMPS dan dapat diunduh dengan mudah.

Tabel 2. Berbagai fitur yang diberikan oleh website LAMMPS

Big Picture	Code	Documentation	Results	Related Tools	Context	User Support
<u>Features</u>	<u>Download</u>	<u>Manual</u>	<u>Publications</u>	<u>Offsite LAMMPS packages</u>	<u>Authors</u>	<u>Mail list</u>
<u>Non-features</u>	<u>SourceForge</u>	<u>Developer Guide</u>	<u>Pictures</u>	<u>Pizza.py Toolkit</u>	<u>History</u>	<u>MD to LAMMPS glossary</u>
<u>FAQ</u>	<u>Latest Features & Bug Fixes</u>	<u>Tutorials</u>	<u>Movies</u>	<u>Other codes</u>	<u>Funding</u>	<u>User Scripts and HowTos</u>
<u>Wish list</u>	<u>Unfixed bugs</u>	<u>Commands</u>	<u>Benchmarks</u>	.	<u>Open source</u>	<u>Workshops</u>

Selanjutnya bagaimana simulasi sistem logam Aluminium dapat dilakukan langkah-langkahnya dapat diringkas dalam diagram alur sebagai berikut.



Gambar 2. Diagram alir langkah-langkah pengembangan simulasi

- (1) Buat folder sembarang terlebih dahulu misal dengan nama SIMULASI dengan cara: klik icon **Start** Windows di pojok kiri bawah layar komputer, pilih **All Programs**, pilih **Accessories**, klik **Command Prompt** lalu ketikkan perintah `mkdir SIMULASI`, maka kita akan mendapatkan folder bernama SIMULASI. Semua pekerjaan simulasi akan dilakukan dalam folder ini. Kode LAMMPS Windows kemudian dapat diunduh dari website <http://lammps.sandia.gov> seperti pada Tabel 1 untuk fitur **Download**. Untuk

dapat mengunduh maka PC harus terhubung ke internet. Pilih kode lammgs windows yaitu **Imp_win_no-mpi.exe** untuk mode serial (bukan parallel). Simpan kode ini dalam folder SIMULASI.

- (2) Untuk menjalankan simulasi dinamika molekuler dengan code LAMMPS maka memerlukan dua file penting yaitu (1) File potensial dan (2) File script input untuk semua parameter dan konfigurasi awal atom serta kontrol simulasi yang diinginkan. Buatlah nama file script dalam ekstensi (*.txt) atau (*.dat). Dalam studi ini potensial EAM untuk Aluminium (Al_FM.eam.fs) di unduh dari *Laboratory for Materials Modeling and Simulations* dengan website <http://cms.sjtu.edu.cn/...>[12]. Simpan file Al_FM.eam.fs dalam folder SIMULASI setelah diunduh.
- (3) Script input untuk simulasi yang dijalankan untuk memprediksi temperatur leleh dari logam Aluminium adalah seperti di bawah ini. Salin script ini dan simpan file script input ini dengan nama input_Al.dat atau input_Al.txt (jika file dibuat dengan notepad) dalam folder SIMULASI. Untuk memahami script input ini dapat dibaca pada manual LAMMPS secara lengkap yang dapat diunduh dari website LAMMPS.
- (4) Untuk menjalankan simulasi LAMMPS sangat mudah. Setelah code LAMMPS windows diunduh (file **Imp_win_no-mpi.exe**) dan file potensial Al_FM.eam.fs diperoleh serta script input dibuat (**input_Al.txt**) dan ketiganya diletakkan dalam satu folder SIMULASI, lalu jalankan dari Command prompt C:\User\... Atau lebih lengkapnya dari icon Start, All Programs, Accessories, Command Prompt, lalu setelah muncul C:\Users\ ... dst ketik `Imp_win_no-mpi.exe < input_Al.txt` (lalu tekan enter). Maka simulasi lammgs akan berjalan. Untuk memahami lebih details tentang file script di atas, bisa dibaca di manual LAMMPS yang dapat diunduh. Pada website Lammgs juga banyak sekali contoh-contoh program yang dapat dipelajari. Selanjutnya simulasi akan berjalan sesuai dengan kontrol simulasi dan parameter yang ditentukan dalam script input yang dibuat.

- (5) Untuk visualisasi unduh code Jmol (jmol.jar) untuk windows dari www.jmol.org dan simpan di folder SIMULASI. Kode jmol ini membaca file trayektori yang dihasilkan oleh kode LAMMPS, yaitu file DUMP. Untuk menjalankan jmol.jar sangat mudah yaitu klik dua kali file ini dan kemudian file DUMP dibuka setelah jmol.jar aktif. Bacalah manual untuk jmol ini dari website.
- (6) Untuk Analisis atau memprediksi titik leleh suatu bahan dapat digunakan konsep perubahan fase dalam fisika statistik yaitu suhu dimana terjadi perubahan fase atau wujud zat adalah suhu dimana ada perubahan tiba-tiba volume zat (atau juga energi total sistem). Perubahan tiba-tiba yang dimaksud adalah adanya satu titik (nilai) suhu yang sama maka ada beberapa titik (nilai) volume (atau energi total) yang berbeda. Jadi dari grafik volume vs suhu atau energy vs. suhu maka dapat dicari titik leleh ini. Hasil kode LAMMPS diantaranya adalah data volume, energi dan suhu.

2. Uji Coba Model Pembelajaran Interaktif

Langkah-langkah dalam uji coba model pembelajaran interaktif adalah sebagai berikut.

- 1). Uji coba pembelajaran interaktif dapat dilakukan untuk beberapa siswa terlebih dahulu. Siswa diminta menjalankan tahap-tahap seperti pada Gambar 2, dengan membaca manual LAMMPS terlebih dahulu dengan petunjuk guru. Bagian manual LAMMPS yang dibaca hanya pada bagian yang diperlukan saja, yaitu bagian menjalankan LAMMPS, bagian perintah (commands) yang digunakan dalam file input_Al.txt. Guru terlebih dahulu mempelajari manual LAMMPS dan fitur-fitur website lammeps secukupnya. Kemudian siswa belajar untuk menjalankan simulasi LAMMPS menurut Gambar 2 dan petunjuk guru.
- 2). Setelah siswa dapat menjalankan simulasi Al, maka siswa dapat mengubah berbagai nilai yang ada di file script input_Al. txt dan kemudian menjalankan

lagi. Kemudian siswa diminta membuat laporan sederhana mengenai cara kerja LAMMPS.

- 3). Setelah kelompok siswa ini dapat menjalankan LAMMPS kemudian melakukan analisis dan pembahasan didampingi guru. Setelah itu siswa membuat laporan akhir mengenai titik leleh bahan aluminium. Setelah kelompok siswa ini berhasil untuk uji coba yang pertama, kemudian uji coba dilanjutkan untuk siswa dalam kelas.

3. Objek Penelitian

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan pembelajaran fisika dengan metode dinamik kode LAMMPS dilakukan uji coba kepada siswa SMA dengan cara siswa diberikan perlakuan pembelajaran interaktif dengan topik tertentu. Sampel penelitian ini terbagi guru dan siswa. Untuk tahap pertama 3 orang guru dan 3 orang siswa dari 3 sekolah yang berbeda memberikan penilaian. Untuk keperluan generalisasi ke populasi yang lebih luas, diusahakan mereka terkonsentrasi di tiga sampai lima sekolah untuk memfasilitasi kemudahan dalam pengambilan data. Data hasil pembelajaran interaktif fisika dengan metode dinamik kode LAMMPS diperoleh dari hasil wawancara dengan siswa dan pemberian kuesioner siswa setelah siswa diberikan perlakuan.

4. Metode Pengumpulan Data

Data hasil pembelajaran interaktif fisika dengan metode dinamik kode LAMMPS diperoleh dari hasil wawancara dengan siswa dan pemberian kuesioner siswa setelah siswa diberikan perlakuan.

5. Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif. Analisis kuantitatif dilengkapi dengan statistik deskriptif dalam bentuk mean dan standar deviasi dari hasil yang diperoleh dari instrumen yang digunakan untuk mengukur kepuasan siswa (dilihat dari perilaku siswa selama menggunakan simulasi, persepsi dan opini siswa selama mengikuti pembelajaran secara interaktif). Untuk validasi butir

instrumen dilakukan uji Pearson Bivariat yaitu uji untuk mengukur hubungan diantara hasil-hasil pengamatan dari populasi yang memiliki dua varian. Sedangkan reliabilitas instrumen dilakukan analisis cronbach. Sedangkan untuk validasi instrumen penilaian hasil simulasi dilakukan dengan bantuan validitas ahli.



BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengembangan Desain Simulasi Fisika Mikroskopik Metode Dinamika Molekul

Penelitian kerjasama perguruan tinggi ini dilaksanakan dengan pertimbangan bahwa tim mitra di Universitas Jember memiliki kapabilitas di bidang Fisika dan komputasi. Perlu dijelaskan bahwa Ketua TPM merupakan Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNEJ dan Anggota TPM merupakan Kepala Pusat Komputer di Universitas Jember. Hal ini menunjukkan kepeloporan tim TPM dalam bidangnya yang memberikan pertimbangan pada TPP untuk memilih tim TPM dari Universitas Jember. Penelitian ini akan dilaksanakan selama 2 tahun yaitu pada tahun pertama pengembangan model simulasi MD dan tahun kedua merupakan uji coba keterpakaian model simulasi MD. Penelitian sebelumnya telah mencoba untuk menampilkan simulasi MD dari bahan aluminium namun dari segi keterpakaiannya untuk pembelajaran di sekolah belum dilakukan sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan yang dapat memperluas penggunaan simulasi MD ini dalam pembelajaran terutama fisika di SMA dan institusi pengusul yaitu Universitas Terbuka sebagai salah satu institusi yang berwenang dalam meningkatkan kualifikasi guru-guru di Indonesia.

Berikut merupakan langkah-langkah pembuatan desain yang telah dilaksanakan.

Tabel 3. Prosedur Pengembangan Prototipe Simulasi Dinamika Molekul

No	Kegiatan
1.	Penelusuran Pustaka dan analisis kurikulum fisika SMA
2.	Pemilihan topik materi yang sesuai untuk dikembangkan simulasinya
3.	Mengembangkan draft garis besar pengembangan multi media
4.	Mereviu draft garis besar pengembangan multi media

No	Kegiatan
5.	Merevisi draft garis besar pengembangan multimedia
6.	Instalasi program simulasi MD dikomputer
7.	Mereviu hasil keluaran program
8.	Mengembangkan draft flowchart dan story board untuk pembelajaran
9.	Mereviu draft flowchart dan story board untuk pembelajaran
10.	Merevisi draft flow chart dan story board untuk pembelajaran
11.	Perancangan Simulasi berdasarkan flowchart dan storyboard
12.	Uji coba awal
13.	Perbaiki Simulasi
14.	Uji coba kelompok kecil
15.	Perbaiki Simulasi Hasil kelompok kecil

B. Tampilan Simulasi

1. Prediksi temperatur leleh

Setelah program LAMMPS dipanggil dan dijalankan maka lembar/layar pertama yang ditampilkan adalah informasi seperti pada Gambar 3. Hasil dari simulasi menurut Gambar 2 adalah seperti di bawah ini.

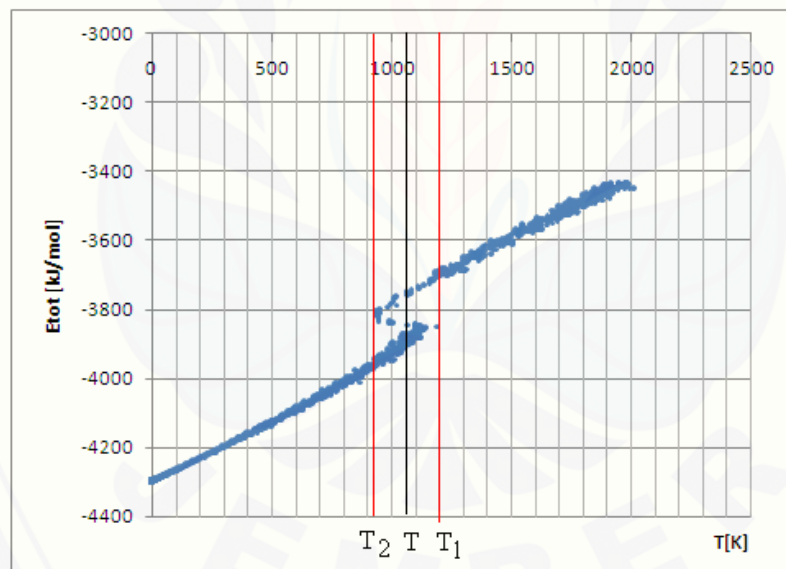
```

Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

LAMMPS (21 Dec 2010)
Lattice spacing in x,y,z = 4.05 4.05 4.05
Created orthogonal box = (0 0 0) to (32.4 32.4 20.25)
  1 by 1 by 1 processor grid
Created 1280 atoms
Setting up run ...
Memory usage per processor = 3.31123 Mbytes
Step Temp E_pair E_mol TotEng Press
0 0 2.5 -4299.8646 0 -4299.4513 -10496.323
100 1.269560655 21257.64 -4299.636088 -4299.4262 -10488.70844
200 1.397134931 21257.64 -4299.634825 -4299.403845 -10483.84415
300 1.384916473 21257.64 -4299.605354 -4299.376394 -10483.13836
400 1.575923002 21257.64 -4299.609008 -4299.34847 -10481.22533
500 1.580183413 21257.64 -4299.57934 -4299.318098 -10480.76711
600 1.695820925 21257.64 -4299.567221 -4299.286862 -10476.73168
700 1.686191216 21257.64 -4299.534038 -4299.255271 -10476.17223
800 1.856723918 21257.64 -4299.531392 -4299.224432 -10470.24152
    
```

Gambar 3. Tampilan step awal simulasi LAMMPS

Data-data hasil simulasi meliputi step integrasi, temperatur, energi potensial, energi total dan sebagainya sesuai script input. Pada penelitian ini simulasi dijalankan dalam 130000 step integrasi dengan algoritman Verlet. Untuk mengetahui temperatur titik lebur logam Al, maka kita buka file **log,lammps** dan kita plot data temperatur T (sumbu horizontal) dengan energi total sistem E_T (sumbu vertikal) dengan Microsoft Excel. Dari grafik $T-E_T$ terlihat bahwa daerah dimana terjadi perubahan tiba-tiba energi total. Gambar 4 memperlihatkan grafik $T-E_T$ untuk logam Al.



Gambar 4. Grafik $T-E_T$ untuk perubahan fase padat-cair logam Al

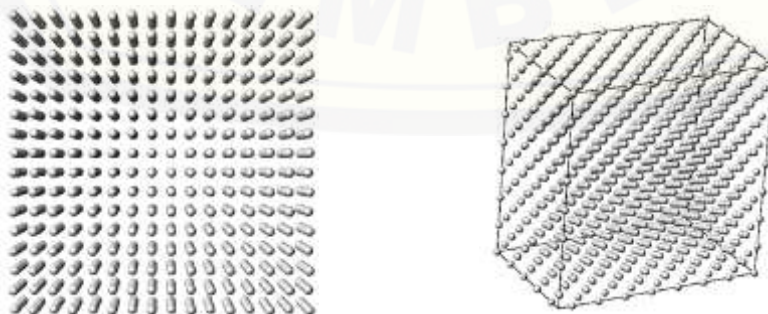
Dari Gambar 4 perubahan fase terjadi antara T_1 dan T_2 . Untuk hasil simulasi terbaik maka seharusnya perubahan hanya terjadi pada satu garis, yaitu pada satu nilai T .

Pada hasil simulasi terdapat dua titik T_1 dan T_2 . Namun bisa diambil pendekatan dengan nilai tengahnya yaitu:

$$T = T_1 + \frac{|T_2 - T_1|}{2} \quad (10)$$

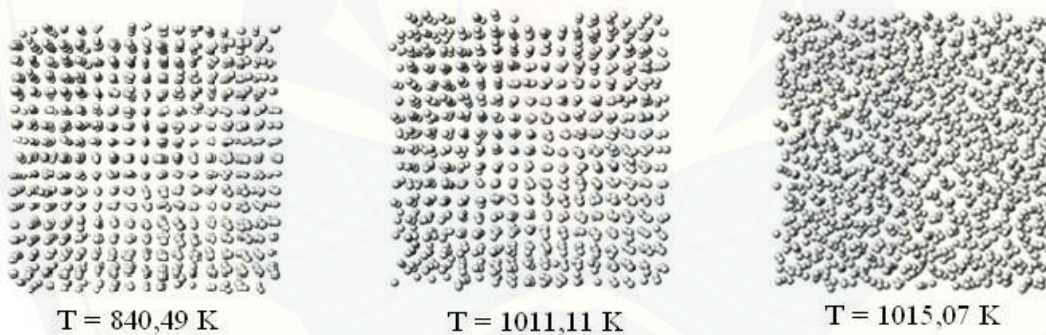
Dari data hasil simulasi dan berdasarkan penafsiran terhadap grafik $T-E_T$ pada Gambar 4, dan menggunakan pers.(7) maka dapat dihitung temperatur titik lebur logam Al adalah sekitar $T = 1059,75$ K pada step integrasi ke 78200.

Perubahan fase dari padat menjadi cair dapat digambarkan lebih informatif berdasarkan gambaran struktur mikroskopik material, yaitu dengan melihat posisi atom-atom penyusun material. Pada studi ini material aluminium sebelum diberikan panas yang makin meningkat adalah kristal berstruktur FCC seperti pada Gambar 5 di bawah ini. Konstanta kisi untuk Al dapat dilihat pada file script input. Gambar struktur mikro dikerjakan dengan program code **Jmol** yang dapat diunduh dari website www.jmol.org. File yang diplot adalah posisi-posisi 1280 atom Al yang menyusun material untuk berbagai temperatur. File-file koordinat (x,y,z) dapat dilihat pada file dump dengan nama **Al.xyz** .



Gambar 5. Konfigurasi awal logam Al struktur kristal FCC untuk simulasi (dengan code vizualisasi Jmol)

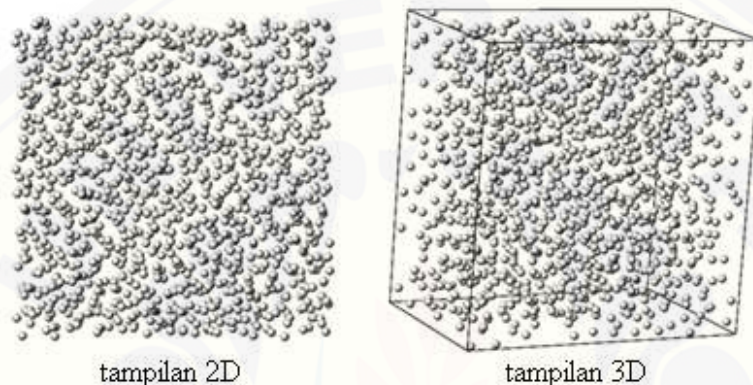
Simulasi dijalankan dan dimulai dari temperatur T nol absolut pada step ke nol kemudian temperatur dinaikan secara gradual sepanjang simulasi sampai mencapai temperatur 1950,51 K pada step ke 130000. Pada Gambar 6 memperlihatkan hasil simulasi setelah step ke 60000 ($T = 840,49$ K) struktur aluminium masih belum sepenuhnya mencair, sedangkan pada step ke 70000 ($T = 1011,11$ K) sudah lebih acak atom-atomnya. Pada step ke 80000 terlihat material Al sudah meleleh seluruhnya.



Gambar 6. Gambaran struktur mikro dari Aluminium untuk berbagai temperatur

Dari gambar 6 dapat kita lihat antara $T = 1011,11$ K dan $T = 1015,07$ K terjadi perubahan struktur yang dramatis dari cenderung padat ke keadaan fase cair. Oleh karena itu prediksi **temperatur titik lebur dicapai pada $T = 1059,75$ K** adalah beralasan. Gambar 7 memperlihatkan struktur mikro aluminium pada $T = 1950,51$ K (pada step 130000) jauh diatas titik lebur. Namun terlihat bahwa struktur mikro

bahan Al pada step 130000 mirip dengan struktur bahan pada $T = 1015,07$ K pada step 80000. Oleh karena itu pada step ke 80000 bahan diprediksi sudah masuk fase cair, sedangkan titik lebur dimana terjadi perubahan dari padat ke cair diprediksi pada $T = 1059,75$ K .



Gambar 7. Struktur mikro Aluminium pada $T = 1950,51$ K pada step 130000

Hasil simulasi sudah dapat di akses pada alamat lims.unja.ac.id/MolDyn.html.

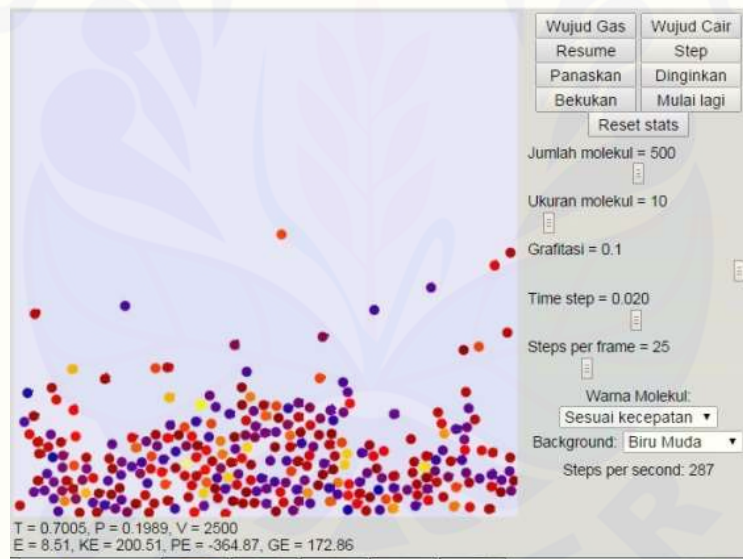
Simulasi dinamika molekul untuk sistem real dan kompleks adalah kerja komputasi yang sangat berat, sehingga sangat memerlukan fasilitas komputasi yang memadai.

(<http://www.ks.uiuc.edu/Development/Computers/>). Diperlukan processor yang sangat cepat dan tangguh pada instalasi. Anggaran penelitian sangat diperlukan untuk *upgrading* kemampuan komputasi. Sebelum *upgrading*, simulasi MD dengan potensial sederhana Lennard-Jones hanya untuk 5 jenis atom (FeNiCrPbBi) memerlukan waktu evaluasi sekitar satu minggu untuk studi satu kandidat bahan material (Arkundato *et.al* 2009). Hasil yang dicapai masih dalam rentang terbatas temperatur. Pada penelitian berikutnya seperti yang diajukan dalam proposal ini, menggunakan potensial EAM, maka dengan komputer yang sama yang sudah ada, waktu yang diperlukan jauh lebih lama untuk jumlah jenis atom yang lebih banyak berkaitan dengan komposisi atom.

Untuk efektivitas dan akurasi hasil penelitian maka perlu dilakukan upgrading pada kemampuan komputer yang sudah ada.

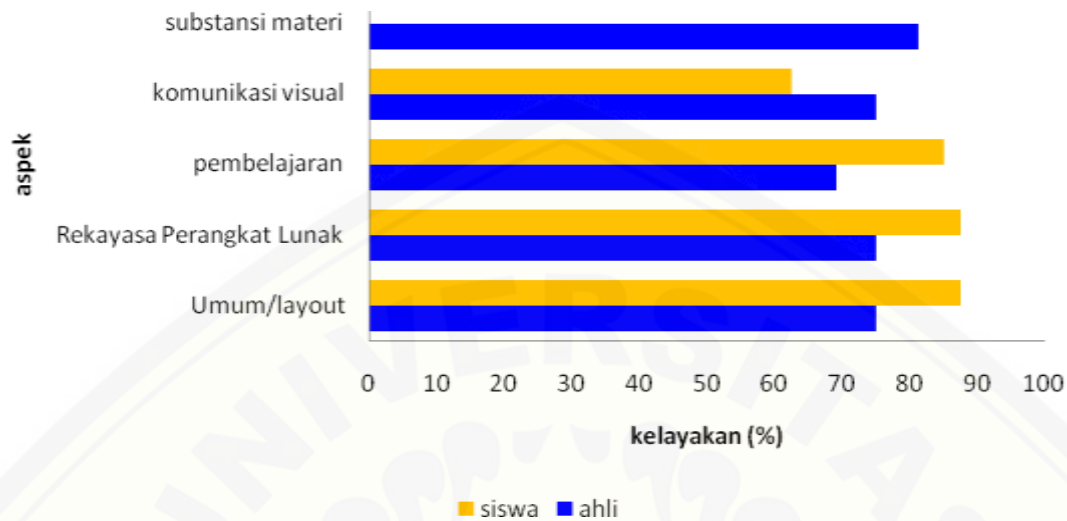
2. Visualisasi Dinamika Molekul untuk pembelajaran

Setelah program LAMMPS dipanggil dan dijalankan akan ditampilkan data temperatur bahan. Perubahan fase dari padat menjadi cair dapat digambarkan lebih informatif berdasarkan gambaran struktur mikroskopik material, yaitu dengan melihat posisi atom-atom penyusun material. Sampai akhirnya didapatkan struktur mikro bahan dalam dimensi 2D dan 3D. Kemudian dirancang desain simulasi yang interaktif untuk bantuan pembelajaran. Gambar berikut memperlihatkan dalam tampilan 2 dimensi.



Gambar 8. Desain simulasi dinamika molekul wujud zat

Setelah di ujicoba kepada ahli materi dan siswa kelas X (N=5), didapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 9. Hasil uji coba desain simulasi

Aspek rekayasa perangkat lunak terdiri dari efektifitas media, dapat diandalkan, dapat dikelola dengan mudah, mudah digunakan, ketepatan pemilihan jenis aplikasi, dapat dipasang diberbagai hardware/software yang tersedia, program terpadu mudah dieksekusi, desain program, dapat dimanfaatkan untuk media pembelajaran lain. Dari aspek perangkat lunak, komponen yang perlu diperbaiki lebih banyak yaitu desain program dan dapat dipasang diberbagai hardware/software yang tersedia. Aspek komunikasi visual yaitu sesuai dengan pesan dan dapat diterima dengan keinginan sasaran, unsur visual dan audio mendukung materi ajar dan mudah dicerna oleh siswa, unsur visualisasi disajikan secara unik dan menarik perhatian. Perlu adanya perbaikan dari unsur visual dan audio. Untuk aspek pembelajaran perlu adanya revisi dari sisi kejelasan uraian dan penggunaan evaluasi

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

Produk yang dihasilkan dalam penelitian ini berupa simulasi dinamika molekul model dua dimensi. Materi yang dikembangkan yaitu pada pokok bahasan perwujudan zat dalam mata pelajaran fisika SMA. Produk berupa simulasi dinamika molekul zat padat dan cair model dua dimensi yang dilengkapi materi dan soal-soal. Media pembelajaran yang dikembangkan sudah sesuai dengan kajian teoritis yaitu berbasis software dan menekankan pada aspek visual. Berdasarkan analisis hasil uji coba yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan media pembelajaran model dua dimensi ini telah memenuhi kelayakan sebagai media pembelajaran berbasis multimedia interaktif.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, S. (2010). *Instrumen Perangkat Pembelajaran*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Arkundato, A. , Suud, Z., and Abdullah, M. (2010) 'Corrosion study of Fe in a stagnant liquid Pb by molecular dynamics methods', in *AIP Conference Proceeding*, New York, Vol. 1244, pp.136 - 144.
- Arkundato, A. , Suud, Z., Abdullah, M., Widayani, S., and Massimo, C. (2012) '[Numerical study: Iron corrosion-esistance in lead-bismuth eutectic coolant by molecular dynamics method](#)', in *AIP Conference Proceeding*, New York, Vol. 1448, pp.155.
- Arkundato, A. , Suud, Z., Abdullah, M., Widayani, S. (2012) 'Computational study: reduction of iron corrosion in lead coolant of fast nuclear reactor', in *AIP Conference Proceeding*, New York, Vol. 1454.
- Artoto Arkundato, Zaki Suud, Mikrajuddin Abdullah, Widayani (2009), Perhitungan Koefisien Difusi Logam Fe Dalam Pb Cair Dengan Metode Dinamika Molekuler: Studi Awal Korosi Dalam Reaktor Cepat, *SPEKTRA:Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 8, No.2 Desember 2009.
- Ackland, G. J., D'Mellow, K., Daraszewicz, S. L., Hepburn, D. J., Uhrin, M.K., and Stratford (2011) 'The MOLDY short-range molecular dynamics package', *Computer Physics Communications*, Vol. 182, pp.2587-2604.
- Belonoshko, A.B. (1998) 'Melting of corundum using conventional and two-phase molecular dynamic simulation method', *Phys Chem Minerals*, Vol. 25, pp. 138-141.
- Brodholt, J. and Wood, B. (1993) 'Molecular dynamics simulations of the properties of CO₂-H₂O mixtures at high pressures and temperatures', *American Mineralogist*, Vol. 78, pp. 558-564.

- Darmawan, Deni. (2011). *Teknologi Pembelajaran*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Jauhari. “Studi terhadap Penggunaan Multimedia Interaktif dalam Pembelajaran MIPA di Indonesia”. *Prosiding Makalah Seminar Nasional PMIPA UNY*. 2009
- Lemmon, E.W. and Jacobsen, R.T. (2004) ‘Viscosity and thermal conductivity equations for nitrogen, oxygen, argon and air’, *International Journal of Thermophysics*, Vol. 25(1), pp.21 - 69.
- Lopez-Perez, M, et al. Blended Learning in Higher Education: Students’ Perceptions and Their Relation to Outcomes. *Computer & Education* 56 (3) (2011): 818-826
- McKagan, S.B. et al. Developing and Researching PhET Simulations for Teaching Quantum Mechanics. *Physics Education Research*, 1(0709)(2007): 4503-4514.
- Plimpton,S. (1995) *Fast Parallel Algorithms for Short-Range Molecular Dynamics*, J Comp Phys, 117
- Sinaga, P. “Penerapan Simulasi Maya pada Pembelajaran Konseptual Interaktif Fisika untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep dan Mengembangkan Scientific Skill”. *Seminar Nasional Fisika*, Jurusan Pendidikan Fisika FPMIPA UPI Bandung, (6 Februari 2013).
- Sukmadinata, Nana Syaodih. (2010) *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.2010
- Wiyono, Ketang. (2009) “Penerapan Model Pembelajaran Multimedia Interaktif untuk meningkatkan Penguasaan Konsep, Keterampilan Generik Sains dan Berpikir Kritis Siswa SMA pada Topik Relativitas Khusus”. *Tesis tidak diterbitkan*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia. 2009

Lampiran 1. Instrumen Penelitian

No	Kriteria	Penilaian			
		1	2	3	4
Aspek Umum					
1	Kreatif dan inovatif (baru, luwes, menarik, cerdas, unik dan tidak asal beda)				
2	Komunikatif (mudah dipahami serta menggunakan bahasa yang baik, benar dan efektif)				
3	unggul (memiliki kelebihan dibanding multimedia pembelajaran lain ataupun dengan cara konvensional)				
Aspek rekayasa perangkat lunak					
4	efektifitas dan efisiensi dalam pengembangan maupun penggunaan media pembelajaran				
5	reliabilitas (dapat diandalkan)				
6	maintenable (dapat dikelola dengan mudah)				
7	usabilitas (mudah digunakan, sederhana ketika dioperasikan)				
8	Ketepatan pemilihan jenis aplikasi untuk pengembangan				
9	Kompatibilitas (media pembelajaran dapat dipasang dan digunakan diberbagai hardware dan software yang tersedia)				
10	pemaketan program media pembelajaran terpadu dan mudah dalam eksekusi				
11	dokumentasi program media pembelajaran yang lengkap meliputi penggunaan, troubleshooting (jelas, terstruktur, antisipatif), desain program (jelas, menggambarkan alur program)				
12	reusable (sebagian atau seluruh program dapat dimanfaatkan kembali untuk mengembangkan media pembelajaran lainnya)				
aspek komunikasi visual					
13	komunikatif (sesuai dengan pesan dan dapat diterima dengan keinginan sasaran, unsur visual dan audio mendukung materi ajar, agar mudah dicerna oleh siswa)				
14	Kreatif dalam ide penuangan gagasan yaitu visualisasi diharapkan disajikan secara unik dan tidak klise agar menarik perhatian				
15	sederhana (visualisasi tidak rumit agar tidak mengurangi kejelasan isi materi ajar dan mudah diingat)				
16	unity, menggunakan bahasa visual dan audio yang harmonis, utuh dan senada, agar materi ajar dipersepsi secara utuh				
17	Pencitraan objek dalam bentuk gambar baik realistis maupun simbolik				
18	Pemilihan warna yang sesuai, agar mendukung kesesuaian antara konsep kreatif dan topik yang dipilih				

No	Kriteria	Penilaian			
		1	2	3	4
19	Tipografi (font dan susunan huruf) untuk memvisualisasikan bahasa verbal agar mendukung isi pesan, baik secara fungsi keterbacaan maupun fungsi psikologisnya				
20	Layout (tata letak) yaitu peletakan dan susunan unsur unsur visual terkendali dengan baik, agar mendukung isi pesan, baik secara fungsi keterbacaan maupun fungsi psikologisnya				
21	unsur visual bergerak (animasi dan atau movie) dapat dimanfaatkan untuk mensimulasikan materi ajar dan mengilustrasikan materi mendekati aslinya				
22	navigasi yang familiar dan konsisten agar efektif dalam penggunaannya				
23	unsur audio (dialog, monolog, narasi, ilustrasi, musik dan efek suara) sesuai dengan karakter topik dan dimanfaatkan untuk memperkaya imajinasi				

Lampiran 2. Personalia Tenaga Peneliti beserta Kualifikasinya

Ketua Peneliti

A. Identitas Diri

1.	Nama Lengkap	Heni Safitri,S.Pd.,M.Si.
2.	Jenis Kelamin	Perempuan
3.	Jabatan Fungsional	Lektor
4.	NIP/NIK	197703102002122002
5.	NIDN	0010037706
6.	Tempat & Tanggal Lahir	Jakarta, 10 Maret 1977
7.	E-mail	henip@ut.ac.id
8.	Nomor Telepon/HP	081908082432
9.	Alamat Kantor	Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan PMIPA FKIP-UT Jl.Cabe Raya Pondok Cabe Tangerang Selatan
10.	Nomor Telepon/Faks	021-7434590
11.	Mata Kuliah Yang Diampu	1. Fisika Kuantum
		2. Gelombang
		3. Praktikum Fisika
		4. Teori Relativitas
		5. Pembelajaran Fisika

B. Riwayat Pendidikan

	S-1	S-2
Nama PT	Universitas Negeri Jakarta	Universitas Indonesia
Bidang Ilmu	Pendidikan Fisika	Ilmu Fisika
Tahun Masuk- Lulus	1996-2002	2008-2010

Judul Skripsi/Tesis	Peningkatan Temperatur Air dengan menggunakan Kolektor Pelat Datar	Pergeseran Fase Hamburan Kaon Nukleon
Nama Pembimbing	Satwiko Sidopekso, Ph.D	Dr.rer.nat. Agus Salam, M.Si

C. Pengalaman Penelitian

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Juta Rp)
1.	2010	Analisis Bahan Ajar Praktikum Fisika	UT	30
2.	2011	Analisis Bahan Ajar Evaluasi Pembelajaran Fisika	UT	20
3	2012	Pengaruh Pemanfaatan Media Sederhana terhadap Hasil Belajar Sains	UT	20

D. Pengalaman Pengabdian kepada Masyarakat

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Juta Rp)
1.	2011	Pemanfaatan Alat Peraga IPA dalam Pembelajaran	UT	
2.	2012	Pemanfaatan Lingkungan Sekitar dalam Pembelajaran Sains dalam kegiatan Profesional Development School di Pulau Pramuka 29-30 Juni 2012	UT	

E. Publikasi Artikel Ilmiah dalam Jurnal

No	Judul Artikel Ilmiah	Nama	Volume/Nomor/Tahun
----	----------------------	------	--------------------

		Jurnal	
1.	Persepsi Siswa Terhadap Pemanfaatan Laboratorium Virtual dalam Pembelajaran Fisika Topik Gerak Lurus	Jurnal Pendidikan UT	Vol. 12, No. 2, September 2011, ISSN: 1411-1942, 8 halaman

F. Pemakalah Seminar Ilmiah

No	Nama Pertemuan Ilmiah/Seminar	Judul Artikel	Waktu dan Tempat
1.	Seminar Internasional Fisika Kentingan	Phase Shift of Kaon-Nucleon Scattering with Separable Interaction	14 Juli 2010, UNS Solo
2.	International Conference ICDE	The Use Open Educational Resources (OERs) to support the Quality of Learning Teachers: Case Study of Universitas Terbuka	2-5 Oktober 2011 Nusa Dua Bali
3	Simposium Nasional Inovasi Pembelajaran Dan Sains (SNIPS)		7-8 Juni 2012, ITB Bandung
4	Seminar Nasional Fisika Terapan III	Pemanfaatan Pembelajaran Berbasis Web dalam Fisika	15 September 2012 UNAIR Surabaya
5	International Conference Education Research		16-18 Oktober 2013 Seoul Korea Selatan

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Hibah Pekerti

Tangerang Selatan, 11 Maret 2013

Pengusul,



Heni Safitri, S.Pd.,M.Si.

Anggota Peneliti (1)

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap	Herawati, S.Pd, M.Si
2	Jenis Kelamin	Perempuan
3	Jabatan Fungsional	Lektor
4	NIP/NIK	197712092002122001
5	NIDN	0009127709
6	Tempat & Tanggal Lahir	Jakarta, 9 Desember 1977
7	E-mail	hera@ut.ac.id
8	Nomor Telepon/HP	085697906968
9	Alamat Kantor	Jl. Cabe Raya, Pamulang, Tangerang Selatan
10	Nomor Telepon/Faks	021 7490941
11	Mata Kuliah Yang Diampu	1. Pengantar Fisika Statistik
		2. Fisika Statistik
		3. Mekanika
		4. Pembelajaran Fisika
		5. Praktikum

B. Riwayat Pendidikan

	S-1	S-2
Nama PT	Universitas Negeri Jakarta	Institut Teknologi Bandung
Bidang Ilmu	Pendidikan Fisika	Fisika
Tahun Masuk-Lulus	1996-2002	2009-2012
Judul Skripsi/Tesis	Penggunaan IC LM335 untuk mengukur kelembaban udara	Analisis Termalhidrolik dan Sirkulasi Alamiah pada Reaktor

		IRIS
Nama Pembimbing	Sadwiko Sidopekso, Ph.D.	Prof. Dr. Zaki Su'ud

C. Pengalaman Penelitian Dalam Lima Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Juta Rp)
1.	2009	Pengaruh Penggunaan Laboratorium Virtual Fisika Terhadap Hasil Belajar Dan Keterampilan Psikomotorik Siswa Dengan Topik Gerak Lurus	UT	10
2.	2012	Analisis pola interaksi mahasiswa dalam pembelajaran online fisika	UT	20

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (juta Rp)
1	Tahun 2011		Universitas Terbuka	

E. Publikasi Artikel Ilmiah dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volume/ Nomor/Tahun
1	Persepsi Siswa Terhadap Pemanfaatan Laboratorium Virtual dalam Pembelajaran Fisika Topik Gerak	Jurnal LPPM UT	Vol. 12, No. 2, September

	Lurus		2011, ISSN: 1411-1942, 8 halaman
--	-------	--	--

F. Pemakalah Seminar (Oral Presentation) dalam 5 Tahun terakhir

No.	Nama Pertemuan Ilmiah/ Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1	Simposium Nasional Inovasi Pembelajaran Dan Sains (SNIPS)	“Pengembangan Computer Assisted Instruction (CAI) Interaktif Dalam Pembelajaran Fisika”	ITB, 7-8 Juni 2012, Bandung, Indonesia
2	Seminar Nasional Fisika Terapan III (SNAFT-III-2012),	“Pengembangan Program Dry Lab Dalam Pembelajaran Fisika Sebagai Media Pembelajaran Jarak Jauh”	UNAIR, 15 September 2012

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Hibah Pekerti

Anggota Peneliti,



Herawati, S.Pd, M.Si
NIP. 19771209 2002122001

Anggota Peneliti (2)

A. Identitas Diri

1.	Nama Lengkap	Dra. Widiasih, M.Pd.
2.	Jenis Kelamin	Perempuan
3.	Jabatan Fungsional	Lektor
4.	NIP/NIK	196603131991032001
5.	NIDN	00122016516
6.	Tempat & Tanggal Lahir	Kebumen, 13 Maret 1966
7.	E-mail	widiasih@ut.ac.id
8.	Nomor Telepon/HP	08161874206
9.	Alamat Kantor	Jl. Cabe Raya, Pamulang, Tangerang Selatan
10.	Nomor Telepon/Faks	021 7490941 ext 2025
11.	Lulusan yang telah dihasilkan	S-1
12.	Mata Kuliah Yang Diampu	1. Pembelajaran Fisika
		2. Fisika Dasar
		3. Fisika Terapan
		4. Praktikum Fisika

B. Riwayat Pendidikan

	S-1	S-2
Nama PT	Universitas Negeri Jakarta	IKIP Negeri Bandung
Bidang Ilmu	Pendidikan Fisika	Pendidikan IPA
Tahun Masuk-Lulus	1985-1990	1995-1997
Judul Skripsi/Tesis	Perbandingan hasil belajar antara siswa yang mengembangkan ringkasan materi dengan yang tidak mengembangkan ringkasan materi	Pemanfaatan Peralatan IPA dari Lingkungan Sekitar sebagai Sumber Belajar IPA

Nama Pembimbing	Drs. D.L.Tobing	Drs. Edy Hidayat, Ph.D
-----------------	-----------------	------------------------

C. Pengalaman Penelitian Dalam Lima Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sum ber	Jml (Juta Rp)
1	2008	Evaluasi Terhadap Materi Inisiasi Dan Pelaksanaan Tutorial Online Tugas Akhir Program (TAP) (sebagai anggota)	UT	10
2	2009	Evaluasi Terhadap Kualitas Latihan Mandiri Online Universitas Terbuka (sebagai Ketua)	UT	20
3	2010	Kajian Terhadap Bahan Ajar PEFI4424 Biofisika Ditinjau Dari Perkembangan Iptek (sebagai ketua)	UT	20
4	2010	Kajian Terhadap Substansi & Media Pefi4309 Praktikum Fisika 1 (sebagai anggota)	UT	20
5	2011	Kajian terhadap substansi BA PEFI4201 Strategi Pembelajaran Fisika ditinjau dari BA SBJJ dan kebermanfaatannya bagi mahasiswa dalam mengajar (sebagai ketua)	UT	20
6	2011	Evaluasi Keterlaksanaan Kebijakan Baru Tentang Entry Nilai Pemantapan Kemampuan Profesional (PKP) Program Pendas di UPBJJ (sebagai ketua)	UT	20
7	2012	Peningkatan Angka Partisipasi Mahasiswa Pendidikan Fisika Aktif Melalui Pemberian Model Layanan Terpadu (sebagai ketua)	UT	30
8	2012	Pengembangan Model Pembimbingan PKP dalam Rangka	UT	30

		Meningkatkan Profesionalisme Guru Program Nonpendas FKIP-UT (sebagai anggota)		
--	--	--	--	--

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (juta Rp)
1	2011	Pemanfaatan Alat Peraga Matematika dan Kit Sains untuk Mengkonstruksi Pengetahuan Siswa SD terhadap Matematika dan Sains	Universitas Terbuka	--
2	2012	Pemanfaatan Lingkungan sebagai Sumber Belajar	Universitas Terbuka	--

Publikasi Artikel Ilmiah dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volume/ Nomor/Tahun

F. Pemakalah Seminar (Oral Presentation) dalam 5 Tahun terakhir

No.	Nama Pertemuan Ilmiah/ Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1	Yusintec	Strengthening Institutional Capacity in Elementary Teacher Education. Makalah yang diseminarkan dalam Usintec	2008, UNES Semarang

		Internasional Workshop. (Tahun 2008)	
2	Temu Ilmiah Guru IV	Pembelajaran Fisika tentang Gelombang dan Bunyi dengan Memanfaatkan Budaya Lokal sebagai Salah Satu Upaya Pembentukan Karakter Peserta Didik	2012, Universitas Terbuka, Jakarta

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Hibah Pekerti

Anggota Peneliti,



Dra. Wideasih, M.Pd.

NIP. 196603131991032001

KETUA TPM

A. Identitas Diri

Nama : Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si.
Tempat/tanggal Lahir : Blitar, 25 Desember 1969
Agama : Islam
Pekerjaan : PNS/Dosen Fisika
NIP : 196912251999031001
NIDN : 0025126901
Jabatan : Lektor/IIIC
Institusi/Instansi : Jurusan Fisika
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember
Alamat Kantor : FMIPA UNEJ : Jl. Kalimantan III/25 Jember (68121)
Jawa Timur
Telp. 0331 334293, Fax. 0331 330225
UPT-TI UNEJ : Jl. Kalimanta 37 Jember
Alamat Rumah : Perumnas Patrang
Jl. Mundu I/7 Patrang Jember (68111) Jawa Timur
HP. 081220688963
Email : (1) a.arkundato@gmail.com
(2) a_arkundato@uj.ac.id

A. PENDIDIKAN

S1	Sarjana Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta (1995)	
	Judul Skripsi	Aspek Klasik dan Kuantum Optika Nonlinear

	Bidang Kajian	Fisika
	Pembimbing	Prof. Muslim, PhD

S2	Magister Fisika FMIPA ITB Bandung (2003)	
	Judul Thesis	Perhitungan Mikroskopik Group-Constant Nuklir dengan Metode Brueckner Hartree-Fock
	Bidang Kajian	Fisika Komputasi
	Pembimbing	Prof. Dr. Zaki Suud

S3	Program Doktor Fisika FMIPA ITB Bandung (2008 – 2012)	
	Judul Disertasi	Studi Korosi Dalam Reaktor Cepat Berpendingin Logam Cair Menggunakan Metode Simulasi Dinamika Molekul
	Bidang Kajian	Komputasi Material
	Pembimbing	Prof. Dr. Zaki Suud, Prof. Dr. Mikrajuddin Abdullah, Dr. Widayani Sutrisno

B. WORKSHOP/TRAINING

DALAM NEGERI			
1	Oktober 2001	<i>Workshop on Physics and Kinetics of Rector</i>	BATAN, Bandung
2	April 2002	<i>TOEFL Training</i> , Language Center	ITB
3	Desember 2003	<i>Workshop on "Learning Methods in Higher Education"</i>	Universitas Jember
4	Januari 2004	<i>International Short Course on "Molecular Dynamics and Quantum"</i>	Teknik Fisika, ITB

		<i>Chemistry</i>	
5	Juni 2004	<i>Short Course on “ Computational Physics And Chemistry, The Installation and Usage of Debian GNU-Linux. Diberikan oleh Dr. Sudarko</i>	Fisika FMIPA Universitas Jember
6	Februari 2005	<i>Laboratory Management Training</i>	Universitas Jember
7	September 2005	<i>Workshop on “Computational Science 2k5</i>	FMIPAUGM
8	Desember 2005	<i>Workshop on “ Developing Curriculum, Syllabi, Instructional Design and Handout on Hypermedia Models for Assignment Activity</i>	SAC, Universitas Jember
9	2006	<i>Workshop ANSN (Asean Nuclear Safety Network)</i>	BAPETEN, Surabaya
10	Mei 2006	<i>Pelatihan Calon Reviewer Buku Ajar SD-SMP, BSNP-PusBuk</i>	Safari GardenBogor
11	Agustus 2009	<i>The Asia Computational Materials Design (Asia CMD) Workshop</i>	Teknik Fisika, ITB
12	Desember 2009	<i>Workshop on High Performance Computing (HPC)</i>	Fisika, FMIPA, UNPAD, Bandung
13	21-24 2010 Juni	<i>Workshop PEKERTI (Pelatihan Ketrampilan Dasar Teknik Instruksional)</i>	LP3 Univ. Jember
14	7&14 2011 Mei	<i>Pelatihan Pemrograman Mikrokontroler AVR dengan code Vision AVR</i>	PPI, Gd. Dapensos, Bandung Ir. Mairodi, MT

15	20-21 Mei 2011	<i>Pelatihan Mikrokontroler AT89S52</i> <i>Prof. Dr. Khairurijal</i>	Lab. Elektronika dan Instrumentasi, Fisika, ITB
16	18 Nov 2011	<i>Pelatihan Penulisan Karya Tulis Ilmiah.</i> Diberikan oleh Prof.Mikrajuddin, Dr. Sparisoma V, Dr. Ferry Iskandar	HFI Ketu: Dr. Bambang Widiyatmoko

LUAR NEGERI

1	November 1997	<i>Basic Training Curriculum of Automation Specialist, Siemens Component Inc.</i>	Franklin, Kentucky, USA
2	Juli 2006	<i>Workshop on Electronics Structure Methods and Their Applications</i>	JNCASR, Bangalore, India
3	Sept-Des 2010	Program Sandwich Dikti: <i>Advanced Molecular Dynamics</i>	ENEA, CR, Cassacia, Roma, Italy

C. SEMINAR/SIMPOSIUM/CONFERENCES

NASIONAL

1	Agustus 2003	Lutfi R, I. Sugiharto, Budi K, A. Arkundato , <i>Study of Ferromagnetic Material Characteristic By Heisenberg Spin1/2 1D Model Employing Bethe I Ansatz</i>	<i>Seminar Nasional Bahan Magnet</i> FMIPA, Fisika, Univ. Indonesia
2	Maret 2009	Partisipan, <i>Pengembangan Kebijakan,</i>	Aula Barat, ITB

		<i>Manajemen dan Teknologi di Bidang Energi dan Lingkungan: Sarasehan Nasional Mencari Solusi Untuk Bangsa</i>	
3	06 Oktober 2011	Seminar Nasional Program Sandwich-Like Prof. Dr. Supriadi Rustam	Dir Pendidik dan Tenaga Kependidikan Kemendiknas

INTERNASIONAL			
1	Februari 2001	Participant: <i>International Symposium on Modern Optics and Applications</i>	Fisika, ITB
2	Nov 2007	Participant: <i>National Seminar on Non-equilibrium Statistical Mechanics</i>	INSA, New Delhi, India
3	22-23 Juli 2009	Artoto Arkundato, Zaki Suud, Mikrajuddin Abdullah, <i>Corrosion Study of Fe in Lead-Bismuth Eutectic: Self-Diffusion Calculation by Molecular Dynamics Methods</i>	Dalam 3 rd APS 2009 International Conference, ITB, Bandung
4	3-4 Oktober 2009	Artoto Arkundato, Zaki Suud, Mikrajuddin Abdullah, <i>Corrosion Study of Fe in a Stagnant Liquid Pb by Molecular Dynamics Methods</i>	Dalam 2 nd ICANSE 2009 Intl Conference, Grand Aquila, Bandung
5	2-5 Oktober 2011	Artoto Arkundato, Paken Pandiangan, Application of Visual Basic Application Program (VBAP) for an Interactive in Open and Distance Learning (IODL)	24th ICDE World Conference, Westin, Nusa Dua, Denpasar, Bali, 2011
6	10-11 Nov 2011	Artoto Arkundato, Zaki Suud, Widayani, <i>Computational Study: Reduction of Iron Corrosion in Lead</i>	Dalam ICPAP 2011 International Conference, ITB,

		<i>Coolant of Fast Nuclear Reactor</i>	Bandung
7	14-17 Nov 2011	Artoto Arkundato, Zaki Suud, Mikrajuddin Abdullah, Widayani, Massimo Celino, <i>Numerical Study: Iron Corrosion-Resistance in Lead-Bismuth Eutectic Coolant by Molecular Dynamics Method</i>	Dalam 3 rd ICANSE 2011 Intl Conference, Hotel Aston, Denpasar, Bali

E. PENELITIAN

1	2001	<i>Synthesis And Critical Current Density of NBCO Superconductor</i>	Ketua, Dana RUTIN, Universitas Jember
2	2006	<i>Studi Eksperimen dan Simulasi Gerak Bola Dalam Permainan Bola Basket</i>	Ketua, BBI, Dana DP2M
3	2007- 2008	<i>Pembuatan Membran Komposit Berbasis Kitosan Untuk DMFC Fuel Cell</i>	Anggota, Dana RISTEK KMRT
4	2008- 2010	<i>Perancangan Patient Care Technology Systems (PCTS) Untuk Peningkatan Mutu Pelayanan Pasien Pada Rumah Sakit</i>	Anggota, Dana RISTEK, KMRT
5	2008- 2009	<i>Rancang-Bangun Tensiometer Terkomputerisasi untuk Tegangan Interfasial dan Sudut Kontak Liquid-liquid/solid Menurut Model ADSA</i>	Ketua, Hibah Bersaing Dana DP2M
6	2009- 2010	<i>Desain Dan Pengembangan CAR (Computerized Advanced-Reactometer):Integrasi Metode Spektroskopi Optik dan SFT (Stopped</i>	Anggota, Dana Hibah Bersaing, DP2M, DIKTI

		<i>Flow Technique) Untuk Aplikasi Pengukuran Reaksi Kimia Cepat (Fast Reaction)</i>	
--	--	---	--

F. JURNAL ILMIAH

F1. Nasional

- (a) Lutfi R, I. Sugiharto, Budi K, **A. Arkundato**, *Study of Ferromagnetic Material Characteristic By Heisenberg Spin1/2 1D Model Employing Bethe I Ansatz*, IJMS, Vol. 5, No.1., October, 2003
- (b) Artoto Arkundato, *Numerical Calculation of (n,C) Elastic Scattering Cross-Section by Brueckner Hartree-Fock Method*, JID, Vol5., No.1., 2004
- (c) P. Pandiangan, Suhartono, A. Arkundato, *Numerical Calculation of Differential Cross-Section (e,Ar) of 10.4 eV by Partial Wave Methods*, JMST, Vol.6., September, 2004
- (d) P. Pandiangan, Artoto Arkundato, *Solusi Persamaan Schrodinger Osilator Harmonik dalam Ruang Momentum*, JMST, Vol6 No.1, Maret, 2005
- (e) P. Pandiangan, Supriyadi, A. Arkundato, *Finite element Method for Solution of Hydrogenic Atom Schrodinger Equation*, JMST, Vol.7. No.1., Maret 2006
- (f) Artoto Arkundato, Zaki uud, Mikrajuddin Abdullah, Widayani, *Perhitungan Koefisien Difusi Logam Fe Dalam Pb Cair Dengan Metode Dinamika Molekuler: Studi Awal Korosi Dalam Reaktor Cepat*, SPEKTRA: jurnal Fisika dan Aplikainya, volume VIII, No.2 Desember 2009
ISSN: 1411-8823

F2. Internasional

- a. Artoto Arkundato et al., *Si-xC1-x02 Alloys: A Possible Route to Stabilize Carbon-Base Silica-Like Solids*, *Solid State Communication*, 144,(2007) 273-276, Elseiver

- b. Artoto Arkundato, Zaki Suud, Mikrajuddin Abdullah, Widayani, Study of liquid lead corrosion of fast nuclear reactor and its mitigation by using molecular dynamics method. Diterima untuk diterbitkan di *International Journal of Applied Physics and Mathematics*, Vol.3 No.1, 2013.
- c. Artoto Arkundato, Zaki Suud, Mikrajuddin Abdullah, Widayani Sutrisno, Molecular dynamic simulation on iron corrosion-reduction in high temperature molten lead-bismuth eutectic. *Turkish Journal of Physics*, DOI: 10.3906/fiz-1112-12.
- d. Artoto Arkundato, Zaki Suud, Mikrajuddin Abdullah (2010), Corrosion Study of Fe in a Stagnant Liquid Pb By Molecular Dynamics Methods, *AIP Conference Proc.*, Vol.1244, pp. 136-144.
- e. Artoto Arkundato, Zaki Suud, Mikrajuddin Abdullah, Widayani, (2012), Computational study: Reduction of iron corrosion in lead coolant of fast nuclear reactor, *AIP Conference Proc.*, Vol.1454, pp. 65.
- f. Artoto Arkundato, Zaki Suud, Mikrajuddin Abdullah, Widayani, Massimo Celino (2012), Numerical Study: Iron Corrosion-Resistance in Lead-bismuth Eutectic Coolant by Molecular Dynamics Method, *AIP Conf. Proc.*, Vol. 1448.

G. PENGABDIAN MASYARAKAT

1. 2000, Pelatihan Fisika di SMA Genteng Banyuwangi
2. 2005, Pelatihan Guru-Guru SMA Jenggawah, Jember

H. PEMROGRAMAN/SOFTWARE

1	Pemrograman C, C++
2	Pemrograman Fortran
3	Pemrograman Basic/TBasic

4	Pemrograman Delphi
5	Visual Basic Application (VBA)
6	Linux Os
7	Dinamika Molekuler dgn code: MOLDY, LAMMPS, ISSACS, Packmol, Jmol, VMD, Rasmol, Stick&Ball
8	Windows Movie Maker
9	GNU PLOT
10	GIMP

I. LAIN-LAIN

1. 14-17 November 2011, Organizing Comete in The 3rd International Conference on Advances In Nuclear Sciences and Engineering (ICANSE) 2011, Hotel Aston, Denpasar, Bali, Indonesia.
2. 03-04 Oktober 2009, Organizing Comete in The 2rd International Conference on Advances In Nuclear Sciences and Engineering (ICANSE) 2009, Hotel Grant Aquilla, Bandung, Indonesia
3. Ketua Revenue Generating (RG), Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Jember, 2005 – 2006
4. Ketua Lab. Fisika Modern dan Optoelektronika, Fisika, MIPA, Universitas Jember, 2003-2006

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

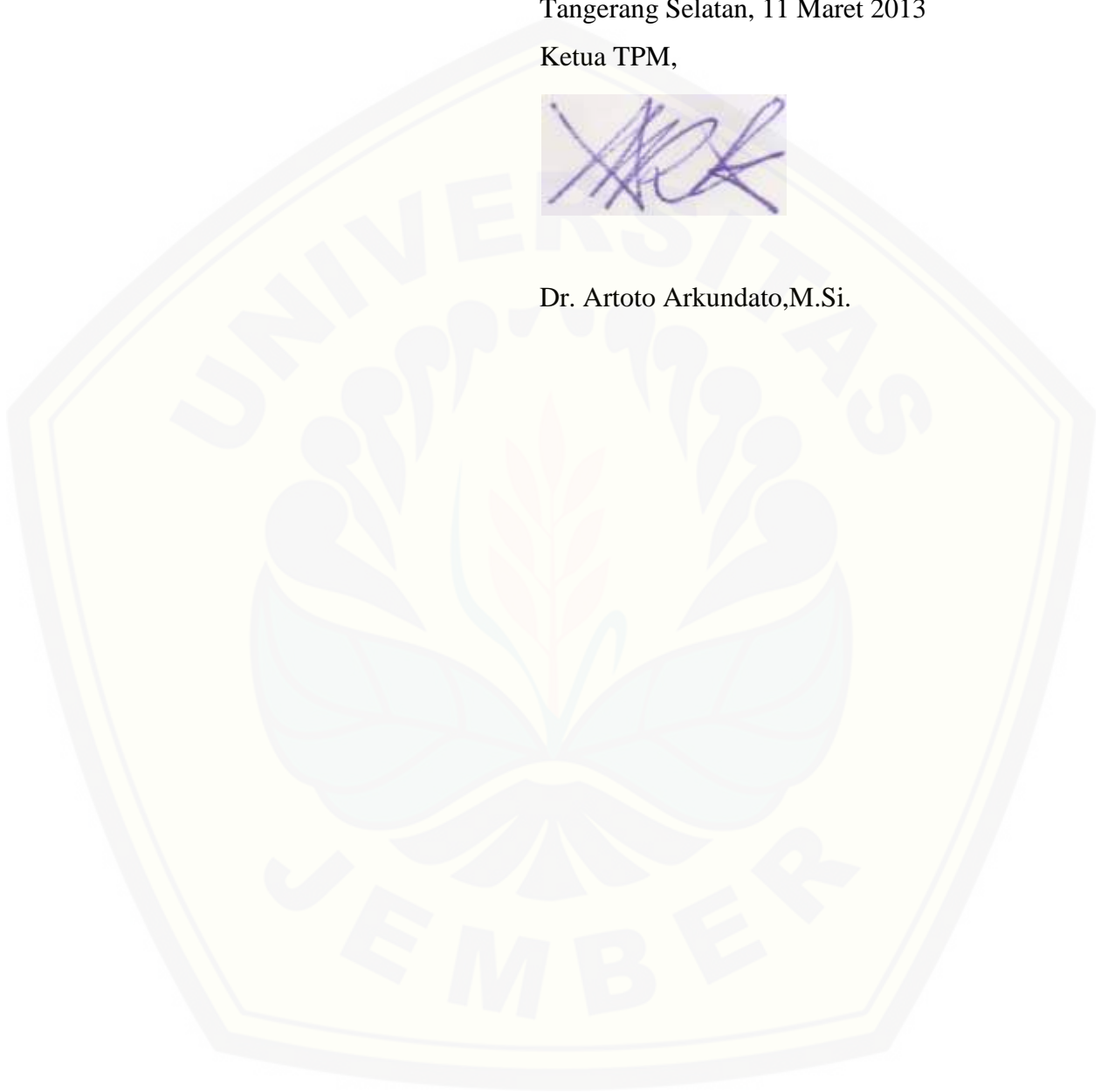
Demikian biodata ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Hibah Pekerti

Tangerang Selatan, 11 Maret 2013

Ketua TPM,



Dr. Artoto Arkundato, M.Si.



ANGGOTA TPM

Personal Information

Name : Sudarko
NIDN : 0012036905
NIP : 196903121992031002
Place of Birth : Blitar
Date of Birth : 12 March 1969
Occupation : Lecturer/Chemistry
Employer : Faculty of Sciences and Mathematics (FMIPA)
The University of Jember
Field of interest : Computational Chemistry
Additional Job : Head of UPT-Teknologi Informasi, Jember University
Home/Mailing : Jl. Bangka IV/32
Address : Jember 68121
Business Address : Faculty of Sciences and Mathematics
The University of Jember
Jl. Kalimantan 37
Jember 68121
Home Phone : +62 331 330592
Mobile Phone : +62 81332800892
Business Fax : +62 331 330225
Email Address : sudarko@gmail.com, darko@unej.ac.id
Language : Indonesian and English
Computer : Fortran, c, PHP, perl, sed, awk, bash script, javascript
Programming
language

Educational Background

No	Degree	University	Year	Research Project	Sponsor
1.	Under-graduate	IKIP Malang	1986-1991	Studi pembuatan alkohol dari ubi jalar	-
2.	Master (Preliminary)	The University of Sydney, Australia	1995-1996	Simulation of Polymerization of Methyl-Methacrylate	AUSAID (Australian Gov.)
3.	Master Leading to PhD	The University of Newcastle, Australia	1996-2000	Computational Chemistry (Infrared Spectroscopy of Triatomic Helides)	AUSAID (Australian Gov.)
7.	Post-Doctoral	EML Research, Heidelberg	July – December 2003	Random Expulsion Molecular Dynamics (REMD) – Protein Modelling	DAAD
8.	Post-Doctoral	University Paris 12	April 2008- April 2009	Computational Chemistry (Infrared Spectroscopy of Triatomic H ₂ F ⁺)	Digiteo

Short Course/Training Program

No	Place	Training Project	Year	Sponsor
1.	ITB Bandung	Basic Sciences Bridging Program and English Course	Nov. 1993 – Dec. 1994	IAPUDP (Australian Gov)
2.	Yogyakarta	University Strategic	2002	TPSDP

		Planning		
3.	Padang	Academic Planning	2002	TPSDP
4.	Heidelberg, Germany	Methods of Molecular Simulations '03 at Interdisciplinary Center for Scientific Computing (IWR)	2003	-

Management and IT Capability

No	Institution	Activity/Position	Year
1.	The University of Newcastle	Unix Administrator for the LAMS Group	1998 - 2000
2.	The University of Jember	Team Leader for University INTRANET installation	Jan 2001- July 2001
3.	The University of Jember	Member of University Quality Assurance Team Q (Tim Q)	June 2001 – June 2002
4.	University of Jember	Director of Sub Project Management Unit TPSDP	October 2002 – August 2005
5.	FMIPA UNEJ	Tim Leader for the development of management information system of the faculty of MIPA UNEJ	2004-2006
6.	JOSSCenter (IGOS Center Jember)	Team Leader/ Decalrator of “ Jember Go Open Source”	2007 – present
7.	PTPN X Persero	Team Leader for the Development of Management Information	November 2009 – Present

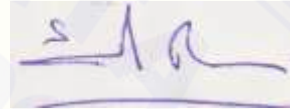
System for Sugar Plantation

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Hibah Pekerti

Jember, 9 Maret 2013

Anggota TPM,



Drs.Sudarko,Ph.D.

Lampiran 3. Publikasi

Desain Inovatif Model Belajar Mengajar Fisika Berbasis Metode Dinamika Molekul

Heni Safitri¹⁾, Artoto Arkundato²⁾, Herawati³⁾, Sudarko⁴⁾, Widiasih⁵⁾

^{1,3,5} FKIP, Universitas Terbuka
email: henis@ecampus.ut.ac.id

^{2,4} FMIPA, Universitas Jember
email: a.arkundato@gmail.com

Abstract

Molecular dynamics method code LAMPPS is one method of computing in a popular physics to simulate the motion of particles, atoms, molecules up to large objects like planets in the galaxy. With the method of molecular dynamics motion of atoms of a liquid can be predicted well even able to visualitate with a very interesting and informative. This study aims (1) to develop a simulation model of a two-dimensional embodiment of states of matter, and (2) to assess the feasibility of the instructional media. Development model used in this study refers to the model of Research and Development (R & D) of Borg and Gall. However data obtained with the help of a questionnaire. The questionnaire consists of expert validation questionnaire and questionnaire responses. The questionnaire responses completed by five high school students of class X. The results validate the use of experts in terms of media and content to obtain an average score of 75.00 % and showed a medium of learning has been valid. Meanwhile, the response from the students of instructional media to obtain an average score of 80.63% can be concluded from this study that the two-dimensional simulation model of the dynamics of molecular changes in states of matter that develop feasible to be implemented to support learning physics.

Keywords: molecular dynamic, simulation, two-dimensional model, learning physics.

1. PENDAHULUAN

Metode dinamika molekul merupakan salah satu metode komputasi dalam fisika yang populer untuk mensimulasikan gerak partikel, atom, molekul sampai untuk obyek

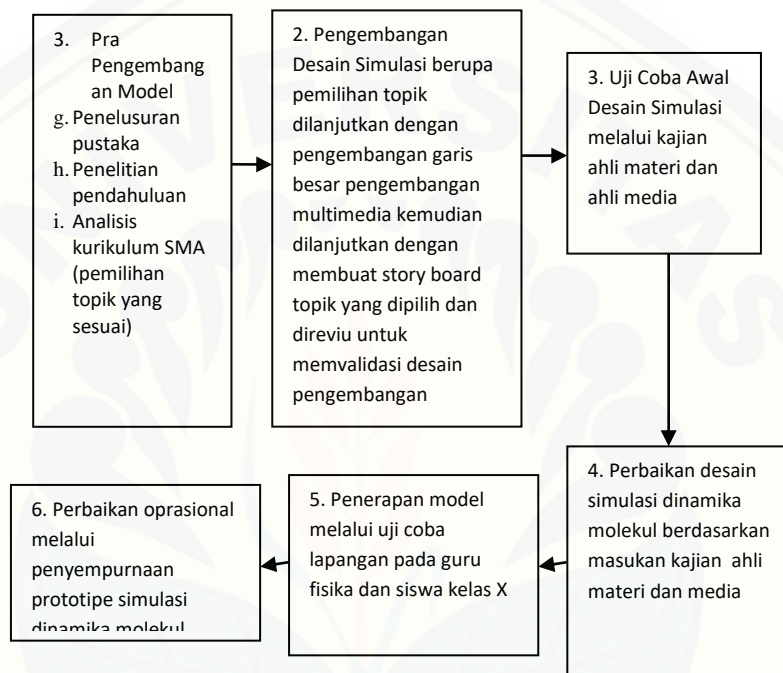
berukuran besar seperti planet dalam galaksi. Dengan metode dinamika molekul gerak atom-atom suatu cairan dapat diprediksi dengan baik bahkan dapat divisualisasikan dengan sangat menarik dan informatif. Penelitian ini bertujuan untuk merancang desain pembelajaran interaktif dengan simulasi dinamika molekul untuk mata pelajaran fisika khususnya mengenai konsep fisika perubahan wujud zat. Kelebihan dari model pembelajaran ini adalah siswa dapat lebih memahami gambaran mikroskopik struktur bahan selama proses perubahan wujud zat, pergerakan atom-atom selama proses pelelehan dapat dianalisis dan diperagakan secara visual. Dengan model pembelajaran yang interaktif dan inovatif ini maka diyakini akan memberi dampak meningkatkan minat dan kemampuan siswa dalam memahami salah satu konsep fisika tersebut dengan lebih baik.

2. KAJIAN LITERATUR

Pendidikan saat ini merupakan salah satu aspek yang paling penting dalam menyiapkan sumber daya manusia yang berkualitas untuk membangun peradaban bangsa. Oleh karena itu, menurut Jauhari (2009) saat ini perlu pembaharuan dalam bidang pendidikan. Selain itu, pendidikan terus berkembang seiring dengan adanya globalisasi dalam perkembangan yang lebih modern. Hal ini terjadi karena media pembelajaran yang digunakan telah terintegrasi dengan teknologi informasi dan komunikasi (TIK). López-Pérez (2011) menyebutkan teknologi informasi dan komunikasi dapat merangsang dan meningkatkan proses belajar mengajar. Oleh karena itu, pembelajaran memerlukan suatu inovasi dalam media pembelajaran yang berbasis teknologi. Selain itu, menurut Wiyono (2009) pembelajaran yang membutuhkan inovasi dalam media pembelajaran yaitu kajian fisika yang mempelajari benda-benda abstrak, sehingga mata pelajaran Fisika cocok untuk dikembangkan suatu inovasi untuk media pembelajarannya. Menurut McKagan (2007) siswa akan lebih mudah memahami konsep yang bersifat abstrak dengan bantuan software interaktif. Menyikapi hal itu, diperlukanlah inovasi dan media pembelajaran sehingga membantu siswa memahami konsep-konsep. Darmawan (2011:10) menyebutkan pembelajaran berbantuan komputer berbasis model simulasi dapat digunakan dalam efisiensi pembelajaran, yaitu dengan CAI, yang merupakan model simulasi di mana pada dasarnya menekankan pada penyajian sebuah proses terjadinya suatu peristiwa, atau prosedur pengerjaan sesuatu kepada peserta didik dan memberikan pengalaman belajar yang lebih konkret melalui penciptaan tiruan-tiruan bentuk pengalaman yang mendekati suasana sebenarnya. Selain itu, Sinaga (2010) menyatakan penggunaan simulasi pada pembelajaran konseptual interaktif dapat lebih efektif mengembangkan pemahaman konsep.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian research and development (R&D). Model pengembangan yang digunakan pada penelitian ini merujuk kepada model penelitian dan pengembangan Borg dan Gall yang dimodifikasi oleh Sukmadinata (2010).



Gambar 1. Prosedur Pengembangan Desain Simulasi Dinamika Molekul

Secara garis besar langkah penelitian dan pengembangan yang dikembangkan terdiri atas tiga tahap, yaitu: (1) Studi Pendahuluan, (2) Pengembangan Produk, dan (3) Pengujian Produk. Tahap studi pendahuluan meliputi studi literatur, studi lapangan dan penyusunan draft awal produk. Sedangkan tahap pengembangan model yang meliputi uji coba dengan sampel terbatas dan sampel lebih luas. Tahap pengujian produk melalui eksperimen dan sosialisasi produk. Pada penelitian ini, pelaksanaan penelitian dan pengembangan dilakukan sampai tahap pengembangan model yaitu sampai langkah uji coba terbatas. Validasi produk dilakukan untuk mengetahui sejauh mana tingkat kelayakan produk yang dikembangkan berdasarkan data yang diperoleh dari dosen ahli. Validasi dilakukan dengan angket validasi yang menilai baik dari segi media, konten, dan soal-soal. Subjek coba produk pada penelitian ini terdiri dari ahli

materi dan calon pengguna produk. Untuk uji penelitian ini baru sampai pada uji coba perseorangan yang terdiri seorang dosen ahli, dan tiga orang siswa kelas X di daerah tangerang selatan. Instrumen pengumpulan data dalam penelitian dan pengembangan ini adalah angket. Data dari angket ini akan dijadikan bahan evaluasi produk. Angket yang digunakan dalam penelitian ini berupa angket tertutup yaitu angket yang telah memuat beberapa pilihan jawaban. Jawaban pada angket menggunakan skala Likert yang dengan nilai 1 sampai 4. Teknik mengolah analisis data yang digunakan untuk uji kelayakan adalah perhitungan analisis deskriptif. Penentuan analisis deskriptif berdasarkan pendapat dari Akbar (2010) yang menyatakan bahwa untuk mengetahui validitas pada setiap butir angket penelitian, total setor empirik validator dibagi dengan skor maksimal yang diharapkan. Berdasarkan pendapat tersebut rumus analisis deskriptif dinyatakan sebagai berikut.

$$V = \frac{TSEV}{S_{max}} \times 100\% \quad (1)$$

Acuan kriteria yang digunakan untuk mengukur tingkat kelayakan disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 1 Kriteria Tingkat Validitas Media

Prosentase (%)	Tingkat Validitas
75,01%-100%	Sangat Valid (sangat baik untuk digunakan)
50,01%-75,00%	Valid (boleh digunakan setelah direvisi)
25,01-50,00%	Tidak Valid (tidak dapat digunakan)
0,00-25,00%	Sangat Tidak Valid (tidak dapat digunakan)

(diadaptasi dari Akbar, 2010)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

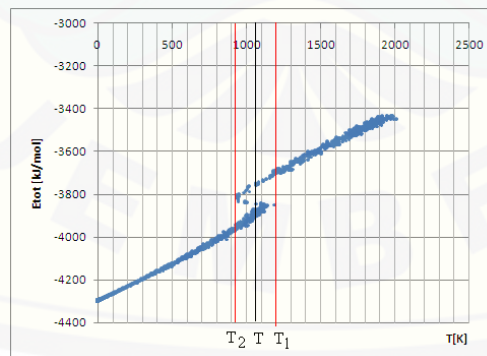
Prediksi temperatur leleh Setelah program LAMMPS dipanggil dan dijalankan maka lembar/layar pertama yang ditampilkan adalah informasi seperti berikut.

```

Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.
LAMMPS (21 Dec 2010)
Lattice spacing in x,y,z = 4.05 4.05 4.05
Created orthogonal box = (0 0 0) to (32.4 32.4 20.25)
  1 by 1 by 1 processor grid
Created 1280 atoms
Setting up run ...
Memory usage per processor = 3.31123 Mbytes
Step Temp E_pair E_mol TotEng Press
0 0 2.5 -4299.8646 0 -4299.4513 -10496.323
100 1.269560655 21257.64 -4299.636088 -4299.4262 -10488.70844
200 1.397134931 21257.64 -4299.634825 -4299.403845 -10483.84415
300 1.384916473 21257.64 -4299.605354 -4299.376394 -10483.13836
400 1.575923002 21257.64 -4299.609008 -4299.34847 -10481.22533
500 1.580193413 21257.64 -4299.57934 -4299.318098 -10480.76711
600 1.695820925 21257.64 -4299.567221 -4299.286862 -10476.73168
700 1.686191216 21257.64 -4299.534038 -4299.255271 -10476.17223
800 1.856723918 21257.64 -4299.531392 -4299.224432 -10470.24152
    
```

Gambar 2. Tampilan step awal simulasi LAMMPS

Data-data hasil simulasi meliputi step integrasi, temperatur, energi potensial, energi total dan sebagainya sesuai script input. Pada penelitian ini simulasi dijalankan dalam 130000 step integrasi dengan algoritman Verlet. Untuk mengetahui temperatur titik lebur logam Al, maka kita buka file **log,lammps** dan kita plot data temperatur T (sumbu horizontal) dengan energi total sistem E_T (sumbu vertikal) dengan Microsoft Excel. Dari grafik $T-E_T$ terlihat bahwa daerah dimana terjadi perubahan tiba-tiba energi total. Gambar 3 memperlihatkan grafik $T-E_T$ untuk logam Al.



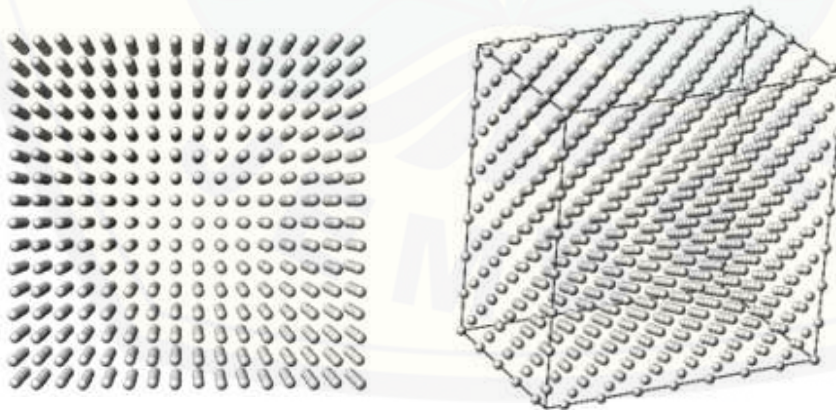
Gambar 3. Grafik $T-E_T$ untuk perubahan fase padat-cair logam Al

Dari Gambar 3 perubahan fase terjadi antara T_1 dan T_2 . Untuk hasil simulasi terbaik maka seharusnya perubahan hanya terjadi pada satu garis, yaitu pada satu nilai T . Pada hasil simulasi terdapat dua titik T_1 dan T_2 . Namun bisa diambil pendekatan dengan nilai tengahnya yaitu:

$$T = T_1 + \frac{|T_2 - T_1|}{2} \quad (2)$$

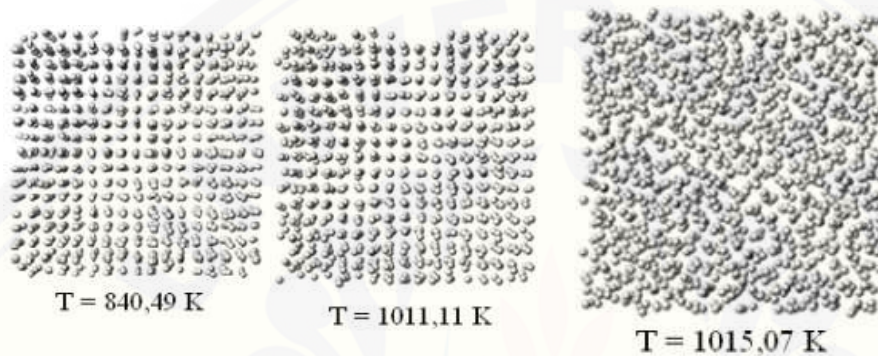
Dari data hasil simulasi dan berdasarkan penafsiran terhadap grafik $T-E_T$ pada Gambar 3, dan menggunakan pers.(7) maka dapat dihitung temperatur titik lebur logam Al adalah sekitar $T = 1059,75$ K pada step integrasi ke 78200.

Perubahan fase dari padat menjadi cair dapat digambarkan lebih informatif berdasarkan gambaran struktur mikroskopik material, yaitu dengan melihat posisi atom-atom penyusun material. Pada studi ini material aluminium sebelum diberikan panas yang makin meningkat adalah kristal berstruktur FCC seperti pada Gambar 4 di bawah ini. Konstanta kisi untuk Al dapat dilihat pada file script input. Gambar struktur mikro dikerjakan dengan program code **Jmol** yang dapat diunduh dari website www.jmol.org. File yang diplot adalah posisi-posisi 1280 atom Al yang menyusun material untuk berbagai temperatur. File-file koordinat (x,y,z) dapat dilihat pada file dump dengan nama **Al.xyz**.



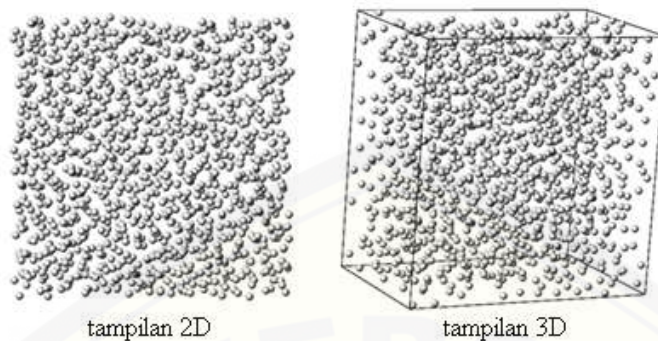
Gambar 4. Konfigurasi awal logam Al struktur kristal FCC untuk simulasi

Simulasi dijalankan dan dimulai dari temperatur T nol absolut pada step ke nol kemudian temperatur dinaikan secara gradual sepanjang simulasi sampai mencapai temperatur 1950,51 K pada step ke 130000. Pada Gambar 5 memperlihatkan hasil simulasi setelah step ke 60000 ($T = 840,49$ K) struktur aluminium masih belum sepenuhnya mencair, sedangkan pada step ke 70000 ($T = 1011,11$ K) sudah lebih acak atom-atomnya. Pada step ke 80000 terlihat material Al sudah meleleh seluruhnya.



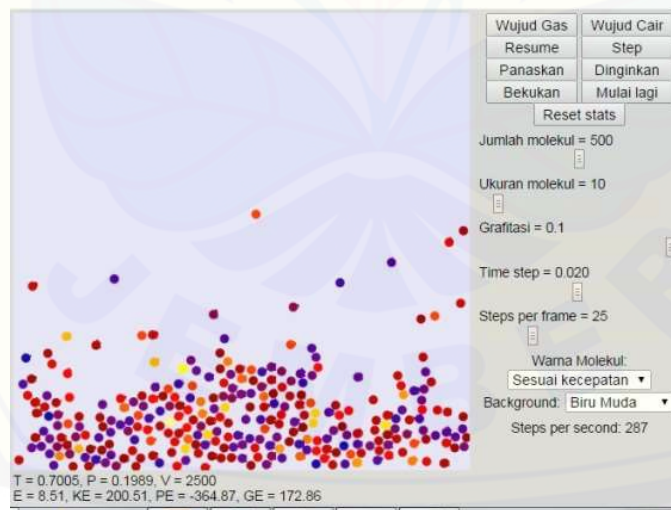
Gambar 5. Gambaran struktur mikro dari Aluminium untuk berbagai temperatur

Dari gambar 5 dapat kita lihat antara $T = 1011,11$ K dan $T = 1015,07$ K terjadi perubahan struktur yang dramatis dari cenderung padat ke keadaan fase cair. Oleh karena itu prediksi temperatur titik lebur dicapai pada $T = 1059,75$ K adalah beralasan. Gambar 6 memperlihatkan struktur mikro aluminium pada $T = 1950,51$ K (pada step 130000) jauh diatas titik lebur. Namun terlihat bahwa struktur mikro bahan Al pada step 130000 mirip dengan struktur bahan pada $T = 1015,07$ K pada step 80000. Oleh karena itu pada step ke 80000 bahan diprediksi sudah masuk fase cair, sedangkan titik lebur dimana terjadi perubahan dari padat ke cair diprediksi pada $T = 1059,75$ K .



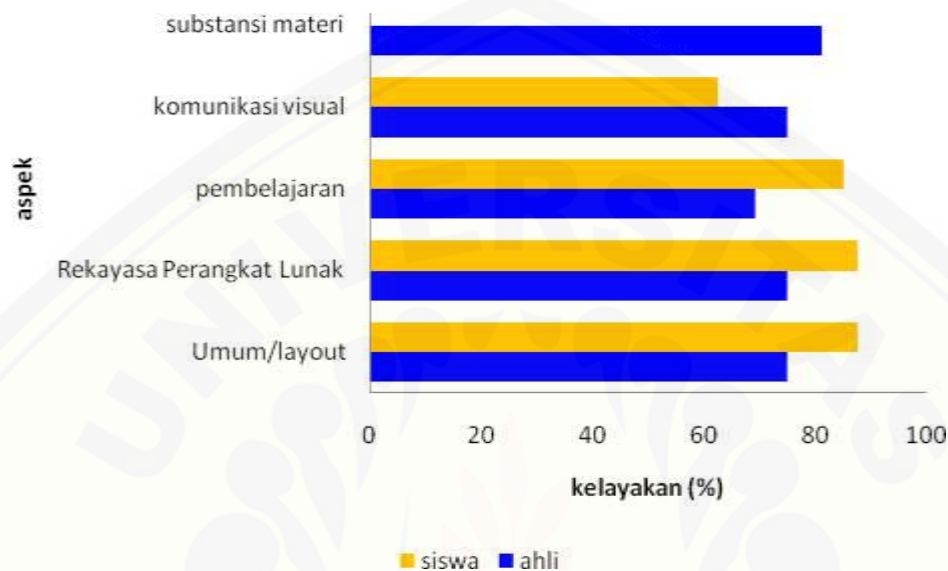
Gambar 6. Struktur mikro Aluminium pada $T = 1950,51$ K pada step 130000

Setelah program LAMMPS dipanggil dan dijalankan akan ditampilkan data temperatur bahan. Perubahan fase dari padat menjadi cair dapat digambarkan lebih informatif berdasarkan gambaran struktur mikroskopik material, yaitu dengan melihat posisi atom-atom penyusun material. Sampai akhirnya didapatkan struktur mikro bahan dalam dimensi 2D dan 3D. Kemudian dirancang desain simulasi yang interaktif untuk bantuan pembelajaran. Gambar berikut memperlihatkan dalam tampilan 2 dimensi.



Gambar 7. Desain simulasi dinamika molekul wujud zat.

Setelah di ujicoba kepada ahli materi dan siswa kelas X (N=5), didapatkan hasil sebagai berikut



Gambar 8. Hasil uji coba desain simulasi

Aspek rekayasa perangkat lunak terdiri dari efektifitas media, dapat diandalkan, dapat dikelola dengan mudah, mudah digunakan, ketepatan pemilihan jenis aplikasi, dapat dipasang diberbagai hardware/software yang tersedia, program terpadu mudah dieksekusi, desain program, dapat dimanfaatkan untuk media pembelajaran lain. Dari aspek perangkat lunak, komponen yang perlu diperbaiki lebih banyak yaitu desain program dan dapat dipasang diberbagai hardware/software yang tersedia. Aspek komunikasi visual yaitu sesuai dengan pesan dan dapat diterima dengan keinginan sasaran, unsur visual dan audio mendukung materi ajar dan mudah dicerna oleh siswa, unsur visualisasi disajikan secara unik dan menarik perhatian. Perlu adanya perbaikan dari unsur visual dan audio. Untuk aspek pembelajaran perlu adanya revisi dari sisi kejelasan uraian dan penggunaan evaluasi.

5. KESIMPULAN

Produk yang dihasilkan dalam penelitian ini berupa simulasi dinamika molekul model dua dimensi. Materi yang dikembangkan yaitu pada pokok bahasan perwujudan zat dalam mata pelajaran fisika SMA. Produk berupa simulasi dinamika molekul zat padat dan cair model dua dimensi yang dilengkapi materi dan soal-soal. Media pembelajaran yang dikembangkan sudah sesuai dengan kajian teoritis yaitu berbasis software dan menekankan pada aspek visual.

Berdasarkan analisis hasil uji coba yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan media pembelajaran model dua dimensi ini telah memenuhi kelayakan sebagai media pembelajaran berbasis multimedia interaktif namun memerlukan perbaikan dalam aspek pembelajaran dan komunikasi visual.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih peneliti tujukan terutama kepada Direktorat Pendidikan Tinggi (Dikti) yang telah mensupport penelitian ini melalui dana hibah penelitian antar universitas (PEKERTI) tahun 2013-2014.

7. REFERENSI

Akbar, S. *Instrumen Perangkat Pembelajaran*. Bandung: Remaja Rosdakarya. 2010

Artoto Arkundato, Zaki Suud, Mikrajuddin Abdullah, Widayani. "Perhitungan Koefisien Difusi Logam Fe Dalam Pb Cair Dengan Metode Dinamika Molekuler: Studi Awal Korosi Dalam Reaktor Cepat". *SPEKTRA: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 8, No.2 (Desember 2009).

Darmawan, Deni. *Teknologi Pembelajaran*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya. 2011

Jauhari. "Studi terhadap Penggunaan Mutimedia Interaktif dalam Pembelajaran MIPA di Indonesia". *Prosiding Makalah Seminar Nasional PMIPA UNY*. 2009

Lopez-Perez, M, et al. Blended Learning in Higher Education: Students' Perceptions and Their Relation to Outcomes. *Computer & Education* 56 (3) (2011): 818-826

McKagan, S.B. et al. Developing and Researching PhET Simulations for Teaching Quantum Mechanics. *Physics Education Research*, 1(0709)(2007): 4503-4514.

Sinaga, P. “Penerapan Simulasi Maya pada Pembelajaran Konseptual Interaktif Fisika untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep dan Mengembangkan Scientific Skill”. *Seminar Nasional Fisika*, Jurusan Pendidikan Fisika FPMIPA UPI Bandung, (6 Februari 2013).

Sukmadinata, Nana Syaodih. *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya. 2010

Wiyono, Ketang. “Penerapan Model Pembelajaran Multimedia Interaktif untuk meningkatkan Penguasaan Konsep, Keterampilan Generik Sains dan Berpikir Kritis Siswa SMA pada Topik Relativitas Khusus”. *Tesis tidak diterbitkan*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia. 2009