

**LAPORAN AKHIR  
PENELITIAN PD-UPT**

**Investigasi Metode Penghambatan Kerusakan dan Inhibitor  
Korosi serta Pemodelan Keramik/Baja Paduan yang Cocok  
Untuk Aplikasi Dalam Reaktor Cepat Massa Depan  
Berpendingin Timbal-Bismuth Cair**



**Tahun ke 2 dari rencana 2 Tahun**

**Ketua TIM Peneliti**

**Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si. /NIDN 0025126901**

**Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si/NIDN 0025027002**

**Dr. Supeno, S.Pd., M.Si/NIDN 0007127401**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**November 2018**

**LAPORAN AKHIR  
PENELITIAN PD-UPT**

**Investigasi Metode Penghambatan Kerusakan dan Inhibitor  
Korosi serta Pemodelan Keramik/Baja Paduan yang Cocok  
Untuk Aplikasi Dalam Reaktor Cepat Massa Depan  
Berpendingin Timbal-Bismuth Cair**



**Tahun ke 2 dari rencana 2 Tahun**

**Ketua TIM Peneliti**

**Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si. /NIDN 0025126901**

**Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si/NIDN 0025027002**

**Dr. Supeno, S.Pd., M.Si/NIDN 0007127401**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**November 2018**

**HALAMAN PENGESAHAN**


Judul : Investigasi Metode Penghambatan Kerusakan Baja dan Inhibitor Korosi serta Pemodelan Keramik/Baja Paduan yang Cocok Untuk Aplikasi Dalam Reaktor Cepat Massa Depan Berpendingin Timbal-Bismuth Cair


**Peneliti/Pelaksana**  
Nama Lengkap : Dr ARTOTO ARKUNDATO, S.Si, M.Si  
Perguruan Tinggi : Universitas Jember  
NIDN : 0025126901  
Jabatan Fungsional : Lektor  
Program Studi : Fisika  
Nomor HP : 081334570022  
Alamat surel (e-mail) : a.arkundato@unej.ac.id


**Anggota (1)**  
Nama Lengkap : Dr FIBER MONADO S.Si, M.Si  
NIDN : 0025027002  
Perguruan Tinggi : Universitas Sriwijaya



**Anggota (2)**  
Nama Lengkap : Dr SUPENO S.Pd, M.Si  
NIDN : 0007127401  
Perguruan Tinggi : Universitas Jember

**Institusi Mitra (jika ada)**  
Nama Institusi Mitra : -  
Alamat : -  
Penanggung Jawab : -  
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 2 dari rencana 2 tahun  
Biaya Tahun Berjalan : Rp 74,000,000  
Biaya Keseluruhan : Rp 139,000,000

Mengetahui,  
Dekan Fakultas M.I.P.A  
  
(Drs. Sujito, Ph.D)  
NIP/NIK 196102041987111001

Kab. Jember, 14 - 11 - 2018  
Ketua,  
  
(Dr ARTOTO ARKUNDATO, S.Si, M.Si)  
NIP/NIK 196912251999031001

Menyetujui,  
Ketua Lembaga Penelitian  
  
(Prof. Dr. Achmad Subagio, M.Agr. Ph.D)  
NIP/NIK 196905171992011001



## RINGKASAN

Tujuan dari penelitian ini adalah (1) menemukan mekanisme kerusakan/korosi material nuklir (baja) dan kemudian menemukan metode penghambatan kerusakan/korosi material nuklir yang tepat, (2) menemukan model material baru seperti logam paduan atau keramik dengan komposisi dan struktur yang tepat yang menghasilkan/mempunyai sifat mekanik yang baik (kuat) dan sifat termodinamik yang diinginkan (solubilitas unsur material nuklir dalam timbal cair rendah) sehingga mampu digunakan/bekerja dalam suhu tinggi reaktor. Untuk dapat mencapai target tersebut maka dalam penelitian ini dirumuskan beberapa hal yaitu (1) Apakah mekanisme terjadinya kerusakan/korosi ditinjau secara mikroskopis/gerakan atom-atom pembentuk bahan? (2) Bagaimana/apa metode yang tepat untuk mengatasi kerusakan/korosi material nuklir tersebut? (3) Apa model material nuklir (baja atau keramik atau material baru yang lain) yang tepat yang memiliki sifat-sifat fisis unggul seperti kuat dan tahan panas? (4) Bagaimana cara mensimulasikan dan menguji metode-metode penghambatan korosi dan model-model material secara atau dengan metode simulasi dinamika molekul (5) Bagaimana menganalisis hasil simulasi dinamika molekul dan bagaimana menghitung besaran-besaran fisis dikaitkan dengan fenomena penghambatan korosi dan sifat-sifat fisis material?

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan dalam 2 (dua) tahun dengan penekanan tahun pertama (2017) untuk mempersiapkan data-data input simulasi dan meneliti baja-baja paduan yang mampu bertahan terhadap korosi serta metode penghambatan korosinya; tahun kedua (2018) difokuskan pada meneliti material lain yang dapat digunakan dalam reaktor dan mampu bekerja dalam kondisi ekstrim suhu tinggi serta mempelajari metode penghambatan korosinya. Pada tahun kedua dari hasil penelitian telah dipresentasikan dan dipublikasikan serta submit ke Seminar Internasional seperti UPIS 2018 pada Mei 2018, UNESS Semarang dan ICES 2018 pada 24 September 2018 ITB Bandung. Kedua paper yang dipresentasikan akan dimuat dalam Jurnal International IOP Journal of Physics, terindeks Scopus. Dari hasil penelitian ini juga dihasilkan Buku Teks hasil penelitian dengan judul: "Metode Simulasi Dinamika Molekul: Aplikasi untuk Riset Material Nuklir" penerbit Universitas Jember Press. Pada penelitian ini melibatkan 2 mahasiswa tugas akhir. Pada penelitian ini juga dikembangkan website penelitian untuk mengelola hasil-hasil penelitian peneliti dengan alamat: [riset.arkundato.net](http://riset.arkundato.net).

Secara umum penelitian ini sudah menjawab permasalahan yang ada yaitu kerusakan bahan dalam logam cair suhu tinggi melalui mekanisme difusi, metode untuk mengatasi korosi dengan memberikan inhibitor oksigen. Cara mensimulasikan korosi dengan metode simulasi dinamika molekul dengan mengemukakan model interaksi potensial lennard-jones sebagai prediksi awal dan untuk menganalisis peristiwa difusi dengan metode/formulasi rumusan Einstein dengan besaran fisis yang berkaitan dengan korosi material yang dihitung adalah koefisien difusi.

**Keyword:** Reaktor Nuklir Cepat, korosi baja dalam logam cair, inhibitor, model material, simulasi dinamika molekul

## PRAKATA

**Alhamdulillah**, penelitian Hibah Fundamental (PD-UPT) ini telah dilaksanakan dengan baik. Hasil-hasilnya kemudian disampaikan dalam Laporan Akhir ini yang disusun berdasarkan hasil-hasil pelaksanaan kegiatan yang dapat dicapai sesuai dengan target luaran yang dituangkan dalam proposal. Hasil-hasil penelitian telah dipresentasikan dalam seminar Internasional UPIS 2018 UNNES Semarang pada Mei 2018. Artikel hasil penelitian dipublikasikan dalam IOP Journal of Physics yang direncanakan terbit November-Desember 2018. Hasil penelitian juga dipresentasikan dalam Seminar Internasional ICES (International conference on Energy System) ITB 2018 24-26 September 2018 dengan makalah yang dipresentasikan direncanakan dimuat pada Journal Internasional terindeks Scopus.

Pada penelitian ini juga telah melibatkan mahasiswa tugas akhir S1 dan S2 sehingga ide-ide penelitian akan sustain dilakukan di masa yang akan datang. Dari hasil penelitian juga dihasilkan buku Teks dengan judul "Metode Simulasi Dinamika Molekul: Aplikasi untuk Riset Material Nuklir" yang juga akan menjamin hasil-hasil penelitian dapat dipelajari secara mandiri oleh siapa saja yang membacanya.

Akhirnya peneliti mengucapkan banyak terima kasih kepada Kemenristek DIKTI Republik Indonesia, serta Universitas Jember atas bantuan baik bantuan finansial maupun yang lain sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

Jember, 10 November 2018

Ketua Peneliti



Dr. Artoto Arkundato

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Sampul</b> .....	1
<b>Halaman Pengesahan</b> .....	2
<b>Ringkasan</b> .....	3
<b>Prakata</b> .....	4
<b>Daftar Isi</b> .....	5
<b>Bab 1 Pendahuluan</b> .....	6
Latar Belakang.....	
Rumusan Masalah.....	
Luaran Penelitian.....	
Rencana Target Capaian Tahunan.....	
<b>Bab 2 Tinjauan Pustaka</b> .....	10
<b>Bab 3 Tujuan dan Manfaat</b> .....	14
<b>Bab 4 Metode Penelitian</b> .....	15
<b>Bab 5 Hasil yang Dicapai</b> .....	17
<b>PUSTAKA</b> .....	39
<b>LAMPIRAN</b> .....	40
A.1 BIODATA KETUA dan ANGGOTA TIM PENGUSUL.....	
A.2 Surat pernyataan ketua peneliti dan tim peneliti...	

## BAB I. PENDAHULUAN

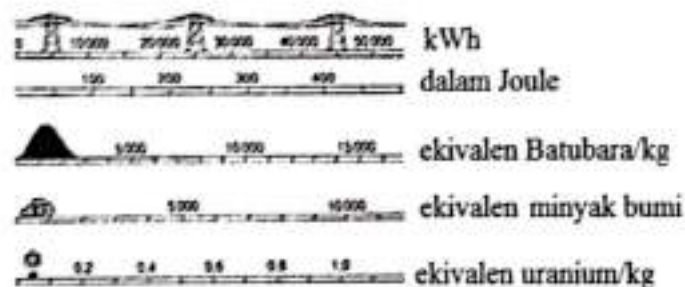
### 1.1 Latar Belakang

#### 1.1.1 Upaya Membangun PLTN Pertama Indonesia

Berbagai diskusi, kajian, riset pendahuluan sampai merumuskan dalam kebijakan menyangkut pemanfaatan energi nuklir di Indonesia telah berlangsung cukup lama. Undang-Undang No. 10/1997 telah pula ada untuk memberi *payung hukum* pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Indonesia<sup>1)</sup>. Secara politik pembangunan PLTN juga sudah lebih diterima oleh DPR oleh karena itu tugas BATAN, BAPETEN dan pihak-pihak terkait perlu banyak melakukan *persiapan* yang serius agar PLTN pertama di bumi Indonesia dapat segera diwujudkan. Khususnya pihak institusi perguruan tinggi dapat mempersiapkan berbagai *aspek sains dan teknis* rancang bangun PLTN melalui riset-riset yang komprehensif, roadmap yang jelas dan realistis.

#### 1.1.2 Perlu dan Ekonomiskah PLTN?

Bagaimana jika dibandingkan dengan pembangkit listrik yang sudah ada seperti PLTD (Diesel) yang memerlukan batubara? Pemanfaatan nuklir menjadi efisien karena hanya memerlukan bahan bakar yang sangat sedikit untuk menghasilkan jumlah listrik yang setara.



Gambar 1.1 Perbandingan kebutuhan bahan bakar pembangkit listrik

<http://www.alpensteel.com/article/124-111-energi-nuklir--pltn/781--rencana-bangun-pltn-pertama-di-indonesia>

Dapat kita lihat pada Gambar 1.1 bahwa pemanfaatan energi nuklir sangat efisien untuk menghasilkan energi listrik dari konversi batubara 15 ton ~ sama dengan 1 kg Uranium. Hal inilah yang menjadikan negara-negara maju berlomba-lomba melakukan riset dibidang nuklir untuk kesejahteraan yaitu listrik. Pada tahun 2004 di dunia telah terdapat 441 unit PLTN dengan kapasitas pembangkitan daya 363 GW, sementara 30 buah PLTN sedang dalam tahap pembangunan. Saat ini sumber bahan bakar uranium atau thorium di Indonesia diperkirakan sebesar 140.000 ton. Dengan demikian, Indonesia bukan hanya merupakan negara yang siap

menjadi negara dengan ketahanan energi (memenuhi kebutuhan sendiri) yang kuat selama lebih dari 1.000 tahun namun juga akan mampu memasok energi listrik secara internasional.

Sebagai informasi sekarang ini kita mengimpor listrik dari Malaysia untuk memenuhi kebutuhan listrik di 6 wilayah di Kalimantan Barat. Tentunya kita tidak ingin hal ini terus terjadi. Pada kenyataannya negara-negara maju terus mengembangkan industri berbasis PLTN seperti statistik pada Gambar 1.2.

<http://finance.detik.com/read/2016/05/12/190700/3209274/1034/ri-impor-listrik-dari-malaysia-esdm-tak-bahayakan-kedaulatan-energi>



Gambar 1.2. (kiri): Alokasi energi listrik nuklir negara-negara besar  
Gambar 1.3 (kanan) Korosi Besi dalam Logam Cair

<https://www.euromuclear.org/info/encyclopedia/fuelcomparison.htm>  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Lead-cooled\\_fast\\_reactor](https://en.wikipedia.org/wiki/Lead-cooled_fast_reactor)

### 1.1.3 PLTN Massa Depan (Generasi IV)

Reaktor nuklir massa depan didesain untuk mampu menerapkan sistem *inherent safety* (keselamatan melekat) sehingga jika ada kerusakan dalam reaktor karena suatu sebab seperti gempa bumi atau anomali yang lain maka reaktor dapat mematikan dirinya sendiri secara otomatis tanpa harus dimatikan secara manual. Rancangan reaktor ini misalnya pada **reaktor cepat berpendingin logam cair**. Reaktor cepat jenis ini mampu dirancang dalam bentuk modular sehingga cocok untuk kawasan Indonesia yang terdiri dari banyak pulau, dapat dibawa oleh kapal laut, kapal selam, atau kendaraan darat sehingga dapat mudah dibawa ke tempat yang memerlukan.



#### ***1.1.4 Permasalahan Pengembangan Reaktor yang Perlu Diteliti***

Istilah pendingin logam cair dimaksudkan media yang digunakan untuk mengalirkan panas melalui sistem pipa baja di dalam reaktor menuju tungku air untuk menghasilkan uap air pemutar turbin. Media pendingin reaktor bermacam-macam dan untuk desain reaktor cepat misalnya logam timbal-bismuth cair. Permasalahan yang ada adalah reaktor ini meski desain reaktor PLTN massa depan karena mampu menerapkan sistem keselamatan melekat namun masih memberikan kelemahan berupa adanya kerusakan/korosi (Gambar 1.3) pada material baja yang digunakan dalam reaktor (Zhang dan Li, 2008). Diperlukan mekanisme/metode penghambatan kerusakan material dan diperlukan ditemukannya material baru yang kuat dan tahan panas. Poin kedua adalah perlunya mencari metode penghambatan kerusakan/korosi yang terjadi dan mencari kandidat material baru yang mampu menahan panas dan kuat.

Riset-riset eksperimen dan komputasi tentang bidang ini banyak dilakukan khususnya untuk komputasi telah dikerjakan oleh Cai dan Yip (2012). Peneliti (pengusul proposal ini) telah pula melakukan penelitian komputasi pendahuluan secara kontinu sejak tahun 2008 (mahasiswa program doktor ITB) sampai sekarang bersama Prof. Zaki Suud, Prof. Mikrajudin Abdullah dan Dr. Widayani dan hasil-hasilnya sudah banyak yang dipublikasikan baik dalam prosidings maupun jurnal internasional (Arkundato et al, 2010, 2011, 2013, 2015). Meskipun demikian masih banyak pekerjaan rumah yang harus dilakukan untuk mendapatkan hasil-hasil riset yang komprehensif untuk menjelaskan fenomena korosi dan penghambatannya dan mendapatkan model baja/keramik unggul tahan korosi. Hasil-hasil komputasi sebelumnya cukup baik namun demikian masih banyak hal yang harus diteliti berkaitan dengan fenomena korosi dan material nuklir.

#### **1.2 RUMUSAN MASALAH**

Untuk dapat mengatasi permasalahan yang telah dipaparkan di atas maka pada penelitian ini ditetapkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Apakah mekanisme terjadinya kerusakan/korosi ditinjau secara mikroskopis?
2. Bagaimana/apa metode yang tepat untuk mengatasi kerusakan/korosi material nuklir tersebut?
3. Apa model material nuklir (baja atau keramik atau material baru yang lain) yang tepat yang memiliki sifat-sifat fisis unggul seperti kuat dan tahan panas?
4. Bagaimana cara mensimulasikan dan menguji metode-metode penghambatan korosi dan model-model material secara atau dengan metode simulasi dinamika molekul

5. Bagaimana menganalisis hasil simulasi dan bagaimana menghitung besaran-besaran fisis dikaitkan dengan fenomena penghambatan korosi dan sifat-sifat fisis material?

### 1.3 LUARAN/TEMUAN YANG DITARGETKAN

Dari penelitian ini maka ditargetkan dapat menghasilkan luaran berupa:

1. Metode efektif penghambatan korosi baja dalam pendingin logam cair
2. Model material baja paduan yang memiliki sifat-sifat fisis yang unggul yang dapat diaplikasikan dalam reaktor
3. Publikasi paper hasil penelitian dalam bentuk jurnal internasional bereputasi
4. Publikasi paper hasil penelitian dalam bentuk prosidings hasil seminar
5. Buku teks hasil penelitian
6. Judul-judul penelitian yang dapat ditawarkan untuk mahasiswa tugas akhir.

#### 1.3.1 Rencana Target Capaian Tahunan

**Tabel 1.** Rencana Target Capaian Tahunan

No.	Jenis Luaran	Indikator Capaian			
		TS1	TS+1	TS+2	
1	Publikasi Ilmiah	Internasional	Accepted/ Published	Accepted/ Published	
		Nasional Terakreditasi			
2	Pemakalah dalam Temu Ilmiah	Internasional	Sudah dilaksanakan	Sudah dilaksanakan	
		Nasional			
3	Invited Speaker dalam temu ilmiah	Internasional			
		Nasional			
4	Visiting Lecturer	Internasional			
5	Hak Keayaan Intelektual (HAKI)	Paten, Paten Sederhana, Hak Cipta, Merek Dagang, Rahasia Dagang, Desain Produk, Indikasi Geografis, Perlindungan Varietas Tanaman, Perlindungan Topografis Sirkuit Terpadu			
6	Tekn. Tepat Guna				
7	Model/Purwarupa /Karya Seni/Rekayasa Sosial		draft	draft	
8	Buku Ajar ISBN		draft	Sudah terbit	
9	Tingkat Kesiapan Teknologi <sup>1</sup>		3	4	

#### 1.3.2 Tingkat Kesiapan Teknologi

Penelitian ini memiliki tingkat kesiapan/kematangan luaran dengan skor 3-4. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya.

**Tabel 2.** Rincian Tingkat Kesiapan Teknologi

TKT	Definisi	Deskripsi Kesiapan
3	Konsep dan karakteristik penting dari suatu teknologi telah dibuktikan secara analitis dan eksperimental	4. Telah dilakukan pemodelan dan simulasi mendukung prediksi kemampuan elemen-elemen Teknologi. 5. Telah dilakukan pengembangan teknologi tersebut dengan langkah awal menggunakan model matematik yang sangat dimungkinkan dan dapat disimulasikan. 8. Telah dilakukan penelitian di laboratorium dengan menggunakan data dummy.
4	Komponen teknologi telah divalidasi dalam lingkungan laboratorium	3. Hasil percobaan laboratorium (simulasi) terhadap setiap komponen menunjukkan bahwa setiap komponen dapat beroperasi. 5. Purwarupa teknologi skala laboratorium (simulasi) telah dibuat

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *State of The Art*

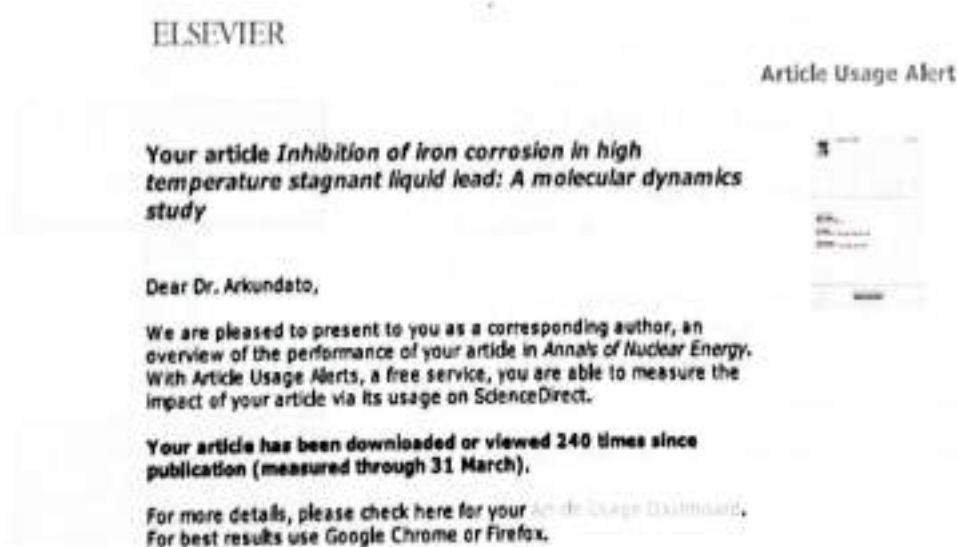
Penelitian komputasi material nuklir khususnya untuk memecahkan problem korosi dalam reaktor merupakan topik riset yang sangat intens pada akhir-akhir ini sehingga banyak seminar-seminar internasional terkait bidang riset ini. Penelitian komputasi material (metode dinamika molekul) sangat *powerful* sebagai *tools* penelitian, namun belum banyak diterapkan dalam riset material reaktor, meskipun metode komputasi dinamika molekul sudah merupakan metode baku penelitian material. Berbagai riset eksperimen juga mengkonfirmasi korosi untuk berbagai bahan dan perlakuan atau kondisi penelitian (Rivai dan Takahashi, 2010; Mosa, 2008; Zalenskii et al, 2007; Zhang dan Li, 2008; Meyers et al, 2013; Sara, 2011; Manly, 1959; Dong, 2013). Oleh karena itu topik ini adalah topik yang sedang uptodate dan menjanjikan.



Gambar 2.1 Workshop Internasional Topik Material Nuklir

## 2.2 Penelitian Pendahuluan Yang Telah Dilakukan

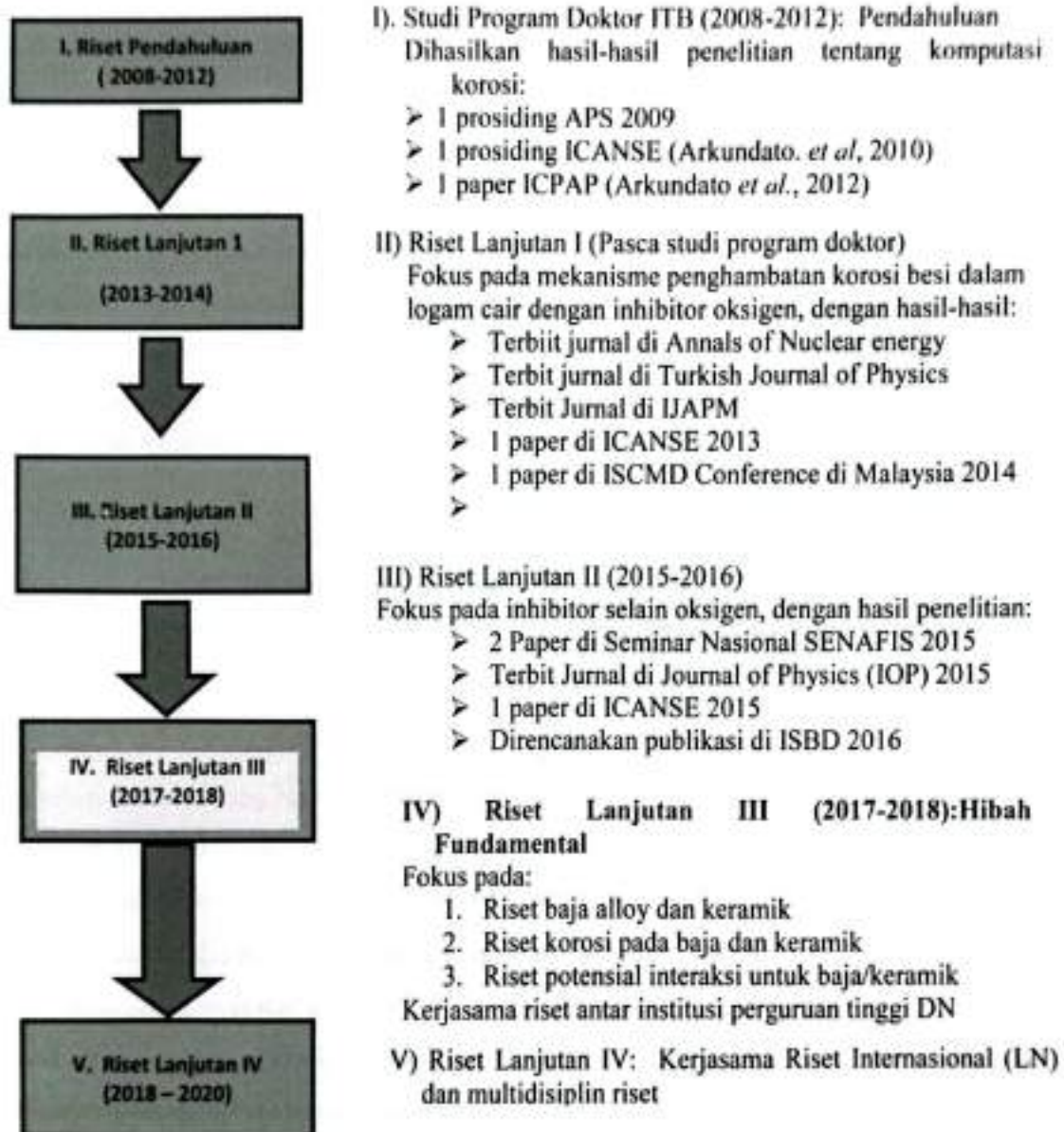
Penelitian dalam bidang komputasi material nuklir dirintis oleh pengusul dengan mengambil studi program doktor di Fisika FMIPA ITB (2008-2012). Satu tulisan yang paling bermutu dari pengusul adalah yang dimuat dalam jurnal *Annals of Nuclear Energy*, yang telah disitasi/download lebih dari 240 kali .



Gambar 2.2 Snapshot hasil sitasi pada jurnal

Pada penelitian pendahuluan ini maka hasil yang dicapai secara kualitatif dapat menunjukkan adanya mekanisme penghambatan korosi melalui terbentuknya lapisan tipis oksigen antara lapisan

logam cair dan besi. Namun demikian secara kuantitatif dan variasi problem, hasil-hasil yang diperoleh belum komprehensif, karena masih memerlukan penelitian lanjutan. Agar-agar penelitian lanjutan ini menghasilkan penemuan yang bermutu dan tingkat keberhasilan tinggi maka dapat kita susun ROAD penelitian sebagai berikut:



Gambar 2.3 Road Map penelitian

### 2.3 Teori dan Simulasi Dinamika Molekul

Dalam penelitian ini maka fenomena korosi dan sifat-sifat fisis bahan dihitung, disimulasikan dan diprediksi menggunakan metode simulasi dinamika molekul. Metode ini secara garis besar berusaha menelaah gerak atom-atom bahan/material menggunakan hukum-hukum Newton.

Persamaan Gerak atom ke- $i$  dari material yang disebabkan gaya luar  $\vec{F}_i$  dapat dinyatakan memenuhi gerak Newton (Martin, 2007):

$$m_i \frac{d^2 \vec{r}_i(t)}{dt^2} = \vec{F}_i(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3, \dots, \vec{r}_N) \quad (2.1)$$

Dengan vektor  $\vec{r}_i = \{\bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{z}_i\}$  adalah vektor posisi, vektor  $\vec{F}_i = \{\bar{F}_i^x, \bar{F}_i^y, \bar{F}_i^z\}$  adalah gaya dan  $i = 1, 2, 3, \dots, N$  indeks untuk atom. Kemudian jika gaya yang bekerja bersifat konservatif maka dapat dinyatakan:

$$\vec{F}_i = -\nabla_i U = -\nabla_i U(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3, \dots, \vec{r}_N) \quad (2.2)$$

Dengan  $U(\vec{r}^N)$  adalah fungsi potensial antar atom. Fungsi potensial dewasa ini sangat bergantung pada sistem material yang ditinjau apakah zat padat, zat cair, gas, logam, polimer dan sebagainya. Salah satu contoh potensial yang sering digunakan untuk prediksi awal dan penyederhanaan perhitungan adalah potensial Lennard-jones (LJ) yang digagas oleh J.E. Lennard-Jones, 1924. Salah satu potensial LJ yang populer digunakan adalah LJ(12,6) dengan  $n=12$  dan  $m=6$  (Shu, 1983):

$$u(r) = 4\epsilon \left[ \left( \frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left( \frac{\sigma}{r} \right)^6 \right] \quad (2.4)$$

Dalam komputasi/simulasi maka setiap interaksi dua atom maka interaksinya harus diwakili oleh nilai  $\sigma$  dan  $\epsilon$  yang tepat. Solusi persamaan (2.2) memerlukan solusi numerik (pemrograman komputer) untuk mendapatkan koordinat-koordinat atom:

$$r(t + \Delta t) = r(t) + v(t)\Delta t + \frac{2}{3}a(t)\Delta t^2 - \frac{1}{6}a(t - \Delta t)\Delta t^2 \quad (2.5)$$

Dari solusi numerik yang hasilnya adalah koordinat-koordinat atom yang dengan memanfaatkan konsep-konsep fisika statistik dapat dihitung besaran-besaran termodinamik menggunakan teorema ergodic bahwa untuk besaran sesaat sembarang  $A = A(\mathbf{p}^N(t), \mathbf{r}^N(t))$  dengan  $\mathbf{p}^N(t)$  momentum dan  $\mathbf{r}^N(t)$  posisi pada waktu  $t$  maka rata-rata nilai  $A$  adalah:

$$\langle A \rangle_{ensemble} = \iint d\mathbf{p}^N d\mathbf{r}^N A(\mathbf{p}^N, \mathbf{r}^N) \rho(\mathbf{p}^N, \mathbf{r}^N) \quad (2.6)$$

Besaran  $\rho$  menyatakan rapat probabilitas ensemble yaitu probabilitas menemukan sebuah konfigurasi dengan momentum  $\mathbf{p}^N$  dan posisi  $\mathbf{r}^N$ . (TaoPang, 2006). Realisasi perhitungan besaran-besaran fisis dalam bentuk program sudah banyak dikerjakan didunia seperti dalam program LAMMPS<sup>1)</sup>, MOLLY<sup>2)</sup>, OVITO<sup>3)</sup>, PACKMOL<sup>4)</sup>. Oleh karena itu dalam penelitian ini kita tidak akan membuat program dinamika molekul dari awal kita hanya membuat program tambahan manakala diperlukan.

## 2.4 Difusi, Fenomena Korosi dan Model Simulasi Korosi

Korosi dapat didefinisikan sebagai degradasi material berstruktur (seperti baja) hasil dari lepasnya (terlarutnya) atom-atom komponen baja ke lingkungannya (logam cair) akibat reaksi kimia-fisika yang terjadi. Penggunaan "coolant" pada reaktor yang mempunyai suhu sangat tinggi memunculkan efek korosi panas (*hot corrosion*) pada logam (Manly, 1959). Jika biasanya korosi terjadi melalui reaksi kimia maka pada mekanisme "*hot corrosion*" seperti *kasus dalam penelitian* hibah fundamental ini tidak melalui mekanisme transfer elektron sebagai bagian dari reaksi kimia. Korosi terjadi melalui transfer massa langsung akibat efek termal difusi atom (Manly, 1959). Oleh karena itu pada penelitian ini cocok sekali digunakan metode dinamika molekul yang dapat menggambarkan proses lepasnya atom-atom baja melalui proses difusi.

Besaran fisis yang akan dihitung untuk mengevaluasi korosi diantaranya adalah koefisien difusi (Arkundato, 2010):

$$D = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{(\langle r^2(t) \rangle - \langle r^2(t=0) \rangle)}{6t} \quad \text{atau} \quad D(T) = D_0 \exp\left(-\frac{A}{R} \cdot \frac{1}{T}\right) \quad (2.7)$$

## 3. TUJUAN DAN MANFAAT

### 3.1 TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan latar belakang riset yang diuraikan diatas maka dapat disusun tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Dapat menemukan mekanisme kerusakan/korosi material nuklir (baja) dan kemudian menemukan metode penghambatan kerusakan/korosi material nuklir yang tepat.
2. Menemukan model material baru seperti logam paduan atau keramik dengan komposisi dan struktur yang tepat yang menghasilkan/mempunyai sifat mekanik yang baik (kuat) dan sifat termodinamik yang diinginkan (solubilitas unsur material nuklir dalam timbal cair rendah) sehingga mampu digunakan/bekerja dalam suhu tinggi reaktor.

### 3.2 MANFAAT PENELITIAN

Pengembangan PLTN berbasis reaktor cepat massa depan sangat menjanjikan dan sangat penting sebagai salah satu solusi mengatasi keterbatasan ketersediaan listrik dimasa depan. Oleh karena itu desain PLTN harus dipastikan memenuhi unsur keselamatan dan ekonomis. PLTN cepat berbasis pendingin timbal cair meskipun menjanjikan dikembangkan namun masih

menghadirkan masalah korosi/kerusakan pada bahan baja (material berbasis besi) yang digunakan yang mengurangi keekonomisan dan tingkat keselamatan reaktor. Penelitian ini berusaha mencari solusi alternatif untuk mengatasi kendala tersebut.

#### BAB 4. METODE PENELITIAN

Ide dasar penelitian ini adalah laju korosi baja harus ditekan serendah mungkin. Dengan kata lain koefisien difusi komponen baja (misal terlarutnya Fe, Cr, Ti, Mo, C, Ni dan lain-lain dalam timbal-bismuth cair) harus diupayakan sekecil mungkin. Untuk mewujudkan ini (koefisien difusi yang rendah) maka dapat ditempuh 2 cara:

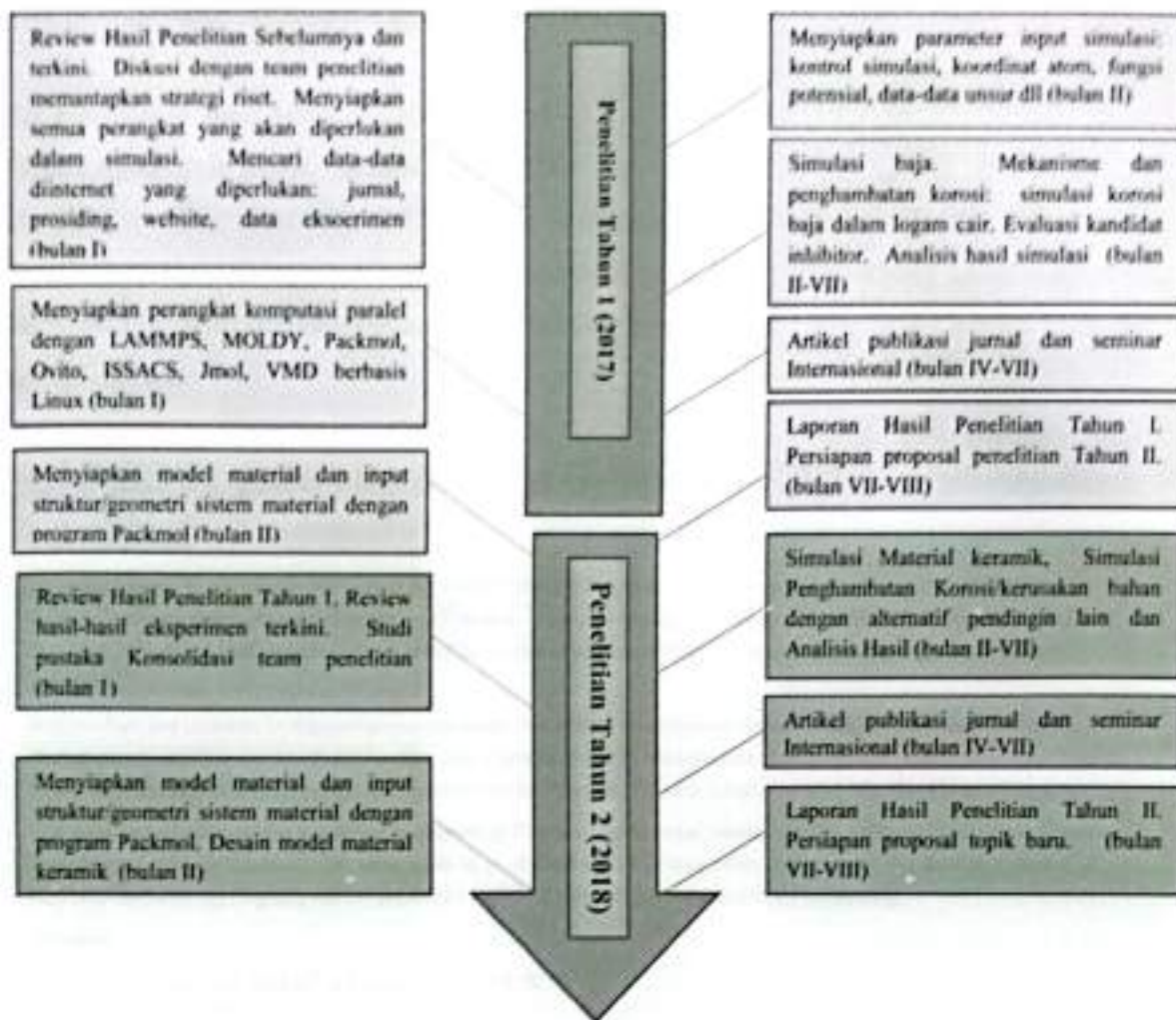
(1) mencari cara penghambatan korosi misalnya memberikan atau memasukkan inhibitor ke dalam sistem korosi misalnya gas oksigen, nitrogen (Arkundato et al, 2010, 2012, 2013, 2015) atau bahan lain; dan/atau (2) menyiapkan material baja atau bahan lain misalnya keramik yang tahan korosi/kerusakan pada suhu tinggi. Dalam penelitian ini kedua pilihan ini (1 dan 2) akan dilakukan observasi dengan kedua-duanya dilakukan simulasi dinamika molekul. Gambaran penerapan metode simulasi dinamika molekul dalam penelitian ini dapat dirumuskan dalam step-step berikut:

1. Pertama disiapkan sistem material yang ingin disimulasikan yaitu material besi/baja berbentuk geometri tertentu misal kotak berstruktur kristal bcc ditempatkan dalam kotak cairan timbal cair dengan rapat jenis tertentu. Sistem material ini bisa dibuat dengan program Packmol. Geometri yang lain adalah bola di dalam bola.
2. Kemudian pada suhu, tekanan tertentu dan parameter-parameter input tertentu program simulasi LAMMPS/Moldy dijalankan. Parameter-parameter input ini misalnya fungsi potensial interaksi, jumlah atom, koordinat atom-atom (yang diperoleh pada step 1) dan sebagainya. Model potensial ini sangat penting dan akan menentukan akurasi hasil.
3. Hasil simulasi kemudian di analisis dihitung nilai koefisien difusi  $D(T)$  dengan rumus yang ada kemudian dikomparasi dengan eksperimen atau juga dilihat struktur mikroskopisnya dengan program Ovito. Komparasi dengan hasil eksperimen untuk memastikan model proses fisis kita di atas dan juga parameternya sudah bagus atau akurat. Jika belum kita perlu mencari model geometri atau struktur material dan atau juga fungsi potensialnya.
4. Jika langkah 3 dianggap cukup representatif maka kita lakukan langkah berikutnya mengulang simulasi lagi dari awal namun dengan memasukkan inhibitor seperti oksigen, nitrogen atau yang lain. Setelah itu dibandingkan nilai koefisien difusinya.
5. Jika koefisien difusi komponen-komponen baja ternyata terjadi penurunan yang signifikan (hasil step 3 dibanding step 4) maka berarti kita sudah berhasil menemukan apa yang kita cari dan kita targetkan.



6. Jika langkah 5 belum berhasil maka diulangi lagi langkah 1-5 sampai menemukan model dan metode yang tepat untuk mengatasi korosi/kerusakan bahan.

Berikut adalah diagram alir penelitian:



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

## BAB 5. HASIL PENELITIAN YANG DICAPAI

Berdasarkan rumusan masalah dan target yang ingin dicapai, maka dapat diungkapkan kegiatan penelitian yang telah dilakukan dan hasil-hasilnya sebagai berikut:

### 5.1 Pemakalah pada Seminar Internasional Riset Logam Baja FeNiCr dalam Logam Cair

Baja paduan dengan model FeNiCr dengan komposisi tertentu diuji kekuatannya dalam media logam cair untuk mengetahui berapakah komposisi yang cukup representatif dapat digunakan? Hasil riset ini telah dipresentasikan dalam Seminar Internasional UPIS 2018 UNNES Semarang sebagai berikut:

## UNNES Physics International Symposium 2018

Dear Colleagues,

We are pleased to announce our upcoming event "UNNES Physics International Symposium (UPIS 2018) in Conjunction with 32nd National Seminar on Physics - Physical Society of Indonesia" on May 3, 2018 at D12 Building, 3rd floor, Faculty of Mathematics and Natural Sciences Universitas Negeri Semarang, Semarang, Central Java, Indonesia.

Scopes that are covered in the symposium include Theoretical and Computational Physics, Advanced Materials, Nanoscience and Nanotechnology, Nuclear and Particle Physics, Geophysics, Astrophysics, Instrumentation Physics, Laser and Optoelectronics, Energy and Environmental Physics, Physics Education and Interdisciplinary Physics.

The selected papers will be published in Journal of Physics Conference Series (JPCS), indexed by Scopus, Thomson Reuters and Web of Science. The others will be published in UPIS Proceeding. Meanwhile, the selected papers of National Seminar on Physics will be published in DOAJ indexed journals and PSI Proceeding.

Timeline:

Extended deadline for abstract submission April 14, 2018.

Event date May 3, 2018.

For more detail information, please refer to our website [seminar.unnes.ac.id/event-upis](http://seminar.unnes.ac.id/event-upis)

We look forward to welcoming you to UPIS 2018 at Semarang, Indonesia.

Best Regard,  
UPIS 2018 Organizing Committee

© UNNES Physics International Symposium



# Certificate

This is to certify that the paper entitled  
**Performance of the Fe-Ni-Cr Steel alloy in high  
temperature molten liquid lead**

written by

**Artoto Arkundato, Fiber Monado, Supeno, Misto, and Zaki Su'ud**

has been presented in

**the UNNES Physics International Symposium  
(UPIS 2018)**

May 3, 2018  
Semarang, Indonesia



**Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt.**  
Dean of Faculty of Mathematics  
and Natural Sciences, UNNES



**Dr. Putut Marwoto, M.S.**  
Chairman of UPIS 2018



PE-16	Problem Based Learning Models based on Science Technology Engineering And Mathematic for Developing Student Character <i>D. Yuliani, Kamadi, Wiyanto</i>
PE-17	Students' ability to solve problems in various forms of representation on topic of direct current electricity <i>S. B. Nugroho, Susanto, F. Setiati</i>
PE-18	Inquiry Learning in Practice: Its Impact on Understanding The Concept and Motivation of Visual Impairment Students <i>Cintia Agustin Putri, Ani Kusilowati, and Bambang Suhali</i>
PE-19	Move to PP4D
PE-20	The Effectiveness of Multicultural Education Through Traditional Games-based Inquiry Toward Improving the Ability of Critical Thinking <i>Septin Nurhalisa, Dewi Rasma Dewi, Fidi Faridatul Umamayah</i>
PE-21	Development of Heat and Temperature E. Module based on Discovery Learning for Secondary School Students <i>Aniq Rafanun Najibah, Vina Seresim, Mutia Defina</i>
PE-22	Elementary School Science Analog Sources Derived from Coastal Traditional Art: Topeng Endel Dance <i>Langlang Handayani, Saeycto Eho Nugroho, Tjeisep Rahendi Rohidi, Wiyanto</i>
<b>Theoretical and Computational Physics</b>	
TC-01	Ab-Initio Calculation of APB3 (A = Li, Na, K, Rb and Cs) Perovskites Crystal and their Lattice Constants Optimization Using Density Functional Theory <i>Fina Fitriana, Triati Dewi Kercana Wangsa Hermawati, and Rahmat Hidayat</i>
TC-02	Degradation of Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Potential Of Hydrogen (pH) in POME by DBD Plasma <i>S.H Pratiwi, A.T Susanto, E. Yuliana, A.W Kinendana, F. Arianta, M. Anom, M. Nur</i>
TC-03	Characterization of Electrical Property and Ion Mobility in Positive Corona and Dielectric Barrier Discharge with Point to Plane Configuration <i>N. Shabrina, A.T Susanto, E. Yuliana, A.W Kinendana, S.H Pratiwi, F. Arianta, M. Nur</i>
TC-04	Ion Wind from YIELD Corona Discharge and Its Application to Drying of Tuberlic Slices ( <i>Curcuma domestica</i> Val) <i>Samarthyah, Aini Khurriati, Eddy Fachrudin</i>
TC-05	Solving Schrodinger's Equation to Determine the Energy due to Confinement of Infinitely One-Dimensional Cylindrical Quantum Wire <i>Ety Wibowo, Nurly Ulya, Zakiyati Oktoman, Samudri Sakoni, Fatah Marwan, Imam Sampena, Mahanika Pratiwi Aj, Rudi Aswati, Mawar Ridwan, Suswati, and Satrio</i>
TC-06	Performance of the Fe-Ni-Cr Steel alloy in high temperature molten liquid lead <i>Areni Arbulatan, Fidi Faridatul Umamayah, Supena, Mica, Zaki Saiful</i>

**Abstract Artikel:**

**Performance of the Fe-Ni-Cr Steel alloy in high temperature molten liquid lead**

Artoto Arkundato<sup>1)</sup>, Fiber Monado<sup>2)</sup>, Supeno<sup>3)</sup>, Misto<sup>4)</sup>, Zaki Su'ud<sup>5)</sup>

<sup>1,4</sup>Physics Department, Faculty of Mathematical and Natural Sciences, University of Jember

<sup>3</sup>Physics Education, Faculty of Teacher Training and Education, University of Jember

<sup>2</sup>Physics Department, Faculty of Mathematical and Natural Sciences, UNSRI

<sup>5</sup>Physics Department, Faculty of Mathematical and Natural Sciences, ITB

*email: a.arkundato@unej.ac.id*

**Abstract**—The degradation of steels used in the fast nuclear reactor that using the liquid metals as a coolant material is still a major problem. Whereas the design of fast nuclear reactor as a IV<sup>th</sup> generation reactor have many advantages. Many investigations have been done with purposes of finding the best steel materials and/or finding the best mechanism to reduce that degradation or inhibit the corrosion. Theoretically, to get a needed novel material and also knowing the corrosion inhibition/degradation mechanism, we can use computational methods as (MD) molecular dynamics method. Using molecular dynamics, we can propose new materials and new corrosion inhibition mechanism based on the promising calculated properties of materials. In the current MD work we study Fe-Ni-Cr performance if used in high temperature molten lead liquid (coolant) to get conclusion how this material has possibility in fast nuclear reactor applications. We also studied the mechanism of corrosion inhibition based on the injection of oxygen gas into the coolant. From the MD csimulation and calculation then we got important conclusions about the FeNiCr performance that useful for nuclear reactor design

**Keywords:** Liquid metals corrosion, FeNiCr Alloys, molecular dynamics, diffusion

### 5.3 Jurnal Internasional Terindeks Scopus:

Makalah ini akan dipublikasikan dalam jurnal internasional terindeks Scopus, yaitu *IOP Journal of Physics*:

**UNNES PHYSICS**  
**International Symposium 2018**  
in conjunction with  
**32<sup>nd</sup> National Seminar on Physics - Physical Society of Indonesia**  
Office: IT Building, Sekeloa Campus of UNNES, Gunungati, Semarang, Indonesia. Phone/Fax: (+624) 8086032  
Website: seminar.unnes.ac.id/event-upis; Email: upis@post.unnes.ac.id

---

**DECLARATION**

On behalf of UNNES Physics International Symposium 2018 (**UPIS 2018**) Committee, we are pleased to declare the following paper:

Title : Performance of the Fe-Ni-Cr Steel alloy in high temperature molten liquid lead

Authors : Artoto Arkundato, Fiber Monado, Supeno, Misto, and Zaki Su'ud

Paper Number : 1082

Affiliation : Universitas Jember, Indonesia

has been presented in the conference at Semarang, 3 May 2018. Moreover, after peer-review process, the paper will be published in *Journal of Physics: Conference Series* (SCOPUS indexed).

Semarang, 11 October 2018  
Sincerely,  
  
Marwoto, M.S.  
Chairman of UPIS2018

### 5.3 Pemakalah Dalam Seminar Internasional:

#### Hasil Penelitian Koefisien Difusi Besi dengan Potensial yang bermacam macam

Pada penelitian ini berbagai bahan dihitung difusinya dengan berbagai metode dan potensial. Data koefisien difusi bahan sangat penting pada fenomena yang melibatkan difusi.

Hasil penelitian dipresentasikan pada International Conference ICES 2018 ITB.





**ICES 2018**  
International Conference on Energy Sciences  
ITB Campus, 24-26 September 2018  
Website: <http://portal.fmipa.itb.ac.id/ices2018>  
Email: [ices.conf@gmail.com](mailto:ices.conf@gmail.com)

---

Date: 22 September 2018

Letter of Acceptance

Dear Authors: Artoto Arkundani(1), Fiber Munado(2), Supeno(3), Sudarso(4), Masturi(5)

We are pleased to inform you that your abstract (ABS-11, Oral Presentation), entitled:

**"Diffusion coefficient calculation of iron in liquid lead via Green-Kubo method of molecular dynamics based on the Lennard-Jones potential and Morse Potential"**

has been reviewed and accepted to be presented at ICES 2018 conference to be held on 24-26 September 2018 in Bandung, Indonesia.

Please submit your full paper and make the payment for registration fee before the deadlines, visit our website for more information.

Thank You.

Best regards,



Prof. Dr. Abdul Waris  
ICES 2018 Chairperson





## ICES 2018

International Conference on Energy Sciences  
ITB Campus, 24-26 September 2018  
Website: <http://portal.fmipa.itb.ac.id/ices2018>  
Email: [ices.conf@gmail.com](mailto:ices.conf@gmail.com)

Date: 22 September 2018

### Letter of Invitation

Dear Authors: Artoto Arkundato(1), Fiber Monado(2), Supeno(3), Sudarko(4), Masturi(5)

We are pleased to inform you that your abstract (ABS-11, Oral Presentation), entitled:

**"Diffusion coefficient calculation of iron in liquid lead via Green-Kubo method of molecular dynamics based on the Lennard-Jones potential and Morse Potential"**

has been reviewed and accepted to be presented at ICES 2018 conference to be held on 24-26 September 2018 in Bandung, Indonesia.

We cordially invite you to attend our conference and present your research described in the abstract.

Please submit your full paper and make the payment for registration fee before the deadlines, visit our website for more information.

Thank You.

Best regards,

A handwritten signature in black ink, appearing to be "A. Waris", written over a horizontal line.

Prof. Dr. Abdul Waris

**Diffusion coefficient calculation of iron in liquid lead via Green-Kubo method of molecular dynamics based on the Lennard-Jones potential dan Morse Potential**

Artoto Arkundato<sup>1</sup>, Fiber Monado<sup>2</sup>, Supeno<sup>3</sup>, Sudarko<sup>4</sup>, Masturi<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Physics department, Faculty of Mathematical and Natural Sciences, University of Jember

<sup>2</sup>Physics department, Faculty of Mathematical and Natural Sciences, University of Sriwijaya

<sup>3</sup>Physics Education, Faculty of Teacher Training and Education, University of Jember

<sup>4</sup>Chemistry department, Faculty of Mathematical and Natural Sciences, University of Jember

<sup>5</sup>Physics Education, Faculty of Teacher Training and Education, UNNES

**Abstract:** Transport properties of materials as diffusion coefficient is important for many applications of interest as in nuclear reactors design. However not all substances of interest have been completed with diffusion coefficient data. The theoretical prediction than can be used to know the values, and the molecular dynamics (MD) is one of powerfull methods. In this MD method, the intermolecular forces play a crucial role in understanding phase behavior and thermodynamic properties of materials. The Lennard-Jones interaction force (potential) has been widely used in the study of thermodynamics properties of substances. Even this potential has been widely used for predictions, but for metal systems this is not recommended for accurate calculation. The Morse potential may be better for metal systems and also Buckingham potential. In this system we want to investigate the diffusion of iron in liquid (lead) matal using MD method via Green-Kubo formula for three above potentials. We want to know for high temperature simulation as in reactor nuclear operation, how the performance of potentials for iron diffusion calculation in liquid lead. Knowing this performance will be important for studying the liquid metal properties and related phenomena.

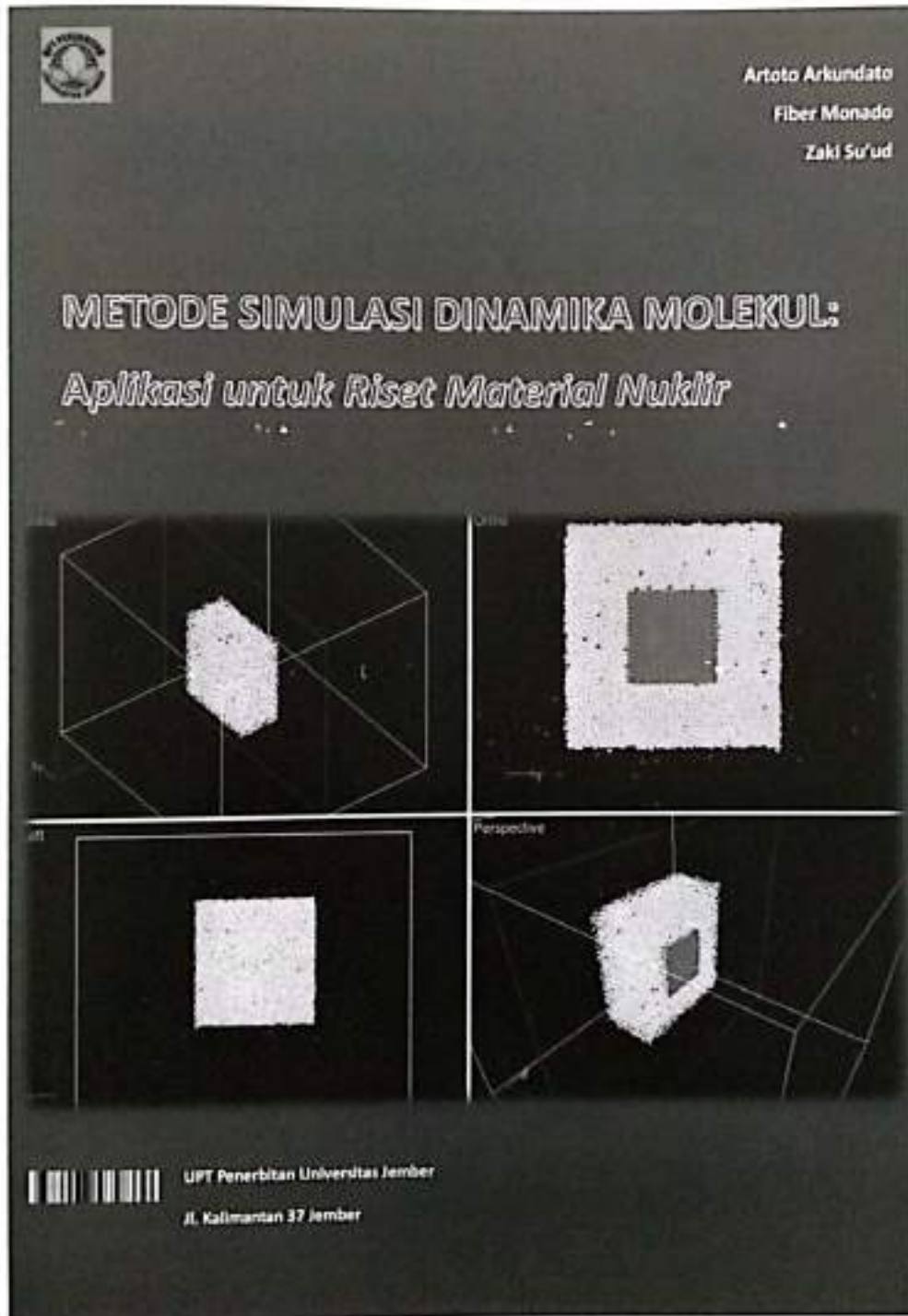
**Keywords:** Lennard-Jones potential, Morse potential, molecular dynamics, liquid lead, Green-Kubo

Email: a.arkundato@unej.ac.id

#### 5.4 Buku Teks Hasil Penelitian

Dari hasil penelitian telah disusun buku Teks dengan Judul "Metode Simulasi Dinamika Molekul: Aplikasi untuk Riset Material Nuklir". Buku ini untuk edisi pertama akan diterbitkan di Penerbit Universitas Jember dan telah masuk tahap percetakan dan telah mendapatkan review pakar.

Halaman Sampul Buku:



Halaman 2 buku:

Artoto Arkundato

Fiber Monado

Zaki Su'ud

---

## Metode Simulasi Dinamika Molekul: Aplikasi untuk Riset Material Nuklir

**Penerbit Universitas Jember**

Dr. Artoto Arkundato (A)  
Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Jember – Jember  
Email: [a.arkundato@unej.ac.id](mailto:a.arkundato@unej.ac.id)

Dr. Fiber Monado  
Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Sriwijaya – Palembang

Prof. Dr. Zaki Su'ud (Z)  
Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
ITB – Bandung

Anggota IKAPI

ISBN

Halaman 3 buku:

# PRAKATA

Penulisan dan penerbitan buku-buku hasil penelitian di Indonesia pada saat ini masih relatif sedikit. Padahal untuk menumbuhkan semangat meneliti dan meningkatkan kemampuan meneliti sangat dibutuhkan buku-buku tersebut. Sejalan dengan ini maka demi kemajuan dan kemandirian bangsa Indonesia tentu saja dibutuhkan peneliti-peneliti (baru) yang mampu menghasilkan hasil-hasil penelitian bermutu dan bernilai HAKI.

Buku ini ditulis berdasarkan hasil-hasil penelitian di bidang komputasi dinamika molekul yang dikhususkan pada topik korosi pada logam cair dan pencegahannya. Sebagai gambaran sekilas, pengembangan sains dan teknologi reaktor cepat masa depan sangat memerlukan dukungan hasil-hasil riset dibidang ini. Salah satu kendala pengembangan reaktor nuklir tersebut adalah masih adanya dampak korosi pada material yang digunakan seperti baja akibat berinteraksi dengan logam cair timbal bismuth. Dengan dilakukannya riset dibidang ini maka berbagai fenomena dapat dianalisis dan mitigasi korosi dapat dipelajari.

Buku ini dikhususkan untuk peneliti dan mahasiswa yang tertarik pada topik aplikasi metode dinamika molekul untuk mengkaji fenomena korosi logam cair suhu tinggi. Buku ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

**Bab I – Energi Nuklir dan Riset Reaktor:** Pada Bab I ini akan dijelaskan latar belakang pentingnya riset dibidang korosi logam cair.

**Bab – II – Program MOLDY:** Pada Bab II ini akan dijelaskan bagaimana program MOLDY dapat digunakan sebagai alat utama untuk riset dinamika molekul.

**Bab III – Simulasi Dinamika Molekul:** Pada Bab III ini akan dijelaskan kajian teori mengenai simulasi dinamika molekul.

**Bab IV – Simulasi Korosi Besi Dalam LBE.** Pada Bab IV ini simulasi dinamika molekul diterapkan untuk topik korosi besi dalam logam cair PbBi.

**Bab V – Simulasi Penghambatan Korosi:** Pada Bab V ini akan dibahas bagaimana proses korosi besi dapat dihambat dengan menganalisis hasil simulasi dinamika molekul

Buku teks hasil peneltiian ini dapat disusun atas bantuan dari Hibah Penelitian Dasar Kementristek Dikti 2017-2018. Oleh karena itu penulis sangat berterima kasih atas dukungan pembiayaan penulisan dan penerbitan buku ini. Tak lupa penulis juga berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penyelesaian penulisan dan penerbitan buku ini.

Jember, Kampus Tegal Boto, November 2018

Penulis  
AFZ

## KATA PENGANTAR PAKAR SEBIDANG ILMU

Pertama tama saya mengucapkan selamat kepada penulis (AFZ) yang sudah berhasil menyelesaikan buku "Metode Simulasi Dinamika Molekul: Aplikasi untuk Riset Material Nuklir".

Buku ini merupakan buku yang sangat berguna bagi siapa saja yang tertarik pada riset komputasi dinamika molekul dan penerapannya khususnya pada fenomena korosi material nuklir.

Di dalam buku ini, penulis secara sistematis menjelaskan bagaimana program Moldy dapat digunakan untuk menjalankan riset dibidang material nuklir. Penulis dapat memprediksi besaran-besaran terkait dan kemudian menawarkan solusi pada problem korosi terkait. Sangat jarang sebuah buku dituliskan secara gamblang, bagaimana secara teori dapat diprediksi sebuah fenomena yang secara eksperimen cukup sulit. Juga sangat jarang buku riset dalam bidang komputasi ditulis di Indonesia.

Dari sisi isi, materi yang disajikan dalam buku ini cukup mendalam jika tidak bisa dikatakan sangat dalam, karena bab demi Bab disusun dengan tahapan yang urut dan rinci dari teori dinamika molekul, software yang digunakan untuk simulasi, cara analisis dan dengan contoh-contoh yang memang diarahkan untuk riset komputasi. Buku ini juga disusun sangat detail untuk mampu menyampaikan gagasan kepada pembaca yang mulai tertarik menekuni bidang komputasi karena disusun dari yang mudah ke yang sulit serta dengan ilustrasi gambar, tabel, grafik yang memadai, meskipun sebagai buku edisi pertama tentunya masih ada kekurangan di sana sini.

Menurut pendapat saya, buku ini dapat memberikan inspirasi dan manfaat dalam menunjang riset dibidang Fisika *condensed matter* berbasis komputasi. Akhir kata, saya mengucapkan terima kasih sudah diberi kesempatan untuk membaca dan menelaah buku ini, dan semoga buku ini dapat memberikan wawasan, khazanah baru, dan inspirasi bagi mahasiswa atau siapa saja yang sedang menekuni riset Fisika khususnya bidang *komputasi material terapan*.

Jakarta, Oktober 2018



Dr. Iwan Sugihartono, MSc.  
Grup Fisika Semikonduktor dan Nano-Struktur  
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Jakarta  
Email: [isugihar@gmail.com](mailto:isugihar@gmail.com)

Halaman 6 buku:

## DAFTAR ISI

Sampul.....	i
Informasi Penerbit.....	ii
Prakata.....	iii
Kata Pengantar Pakar Sebidang Ilmu.....	iv
Daftar Isi.....	v
Kronologis Perkembangan Metode Dinamika Molekul.....	vi
<b>Bab I Energi Nuklir dan Riset Reaktor.....</b>	<b>1</b>
Pendahuluan.....	1
1.1 PLTN di Dunia .....	1
1.2 Problem Korosi Pada Feaktor Cepat.....	12
1.3 Simulasi Korosi dan Penghambatannya.....	13
DAFTAR PUSTAKA.....	15
<b>Bab II Program Moldy.....</b>	<b>18</b>
Pendahuluan.....	19
2.1 Program Simulasi Dinamika Molekul Moldy.....	19
2.2 Instalasi Moldy.....	20
2.3 Menjalankan Moldy.....	21
2.4 File Input Moldy.....	21
2.5 Paramater Dalam File Kontrol Moldy.....	25
2.6 Format Penulisan File Spesifikasi.....	26
2.7 Simulasi dari File Restart.....	28
2.8 Rcut-off .....	29
2.9 Pesan Dan Error.....	30
2.10 Utilitis MOLDY.....	30
2.11 Contoh File Input.....	34
2.12 Time Step.....	35
2.13 Membangun Konfigurasi Arom-Atom Sistem Material.....	36
2.14 Pengembangan Program Moldy.....	46
DAFTAR PUSTAKA.....	46
<b>Bab III Metode Dinamika Molekul.....</b>	<b>48</b>
Pendahuluan.....	48
3.1 Persamaan Gerak.....	49
3.2 Potensial Interaksi.....	50
3.3 Satuan Tereduksi.....	53
3.4 Solusi Numerik Persamaan Gerak.....	53
3.5 Mekanika Statistik.....	55
3.6 Simulasi Korosi Baja Dalam Logam Cair.....	56
3.7 Metode CNA.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62

<b>Bab IV</b>	<b>Simulasi Korosi Besi Dalam LBE</b> .....	63
	Pendahuluan.....	63
4.1	Merancang Simulasi Korosi.....	63
4.2	Simulasi Material Logam Cair.....	67
4.3	Simulasi Material Besi.....	69
4.4	Simulasi Korosi Besi Dalam Logam Cair.....	76
4.5	Perhitungan Koefisien Difusi Besi dalam LBE.....	83
	DAFTAR PUSTAKA.....	84
<b>Bab V</b>	<b>Simulasi Penghambatan Korosi</b> .....	86
	Pendahuluan.....	86
5.1	Konsentrasi Oksigen Yang disimulasikan.....	86
5.2	Penghambatan Korosi Besi dalam PbBi.....	96
5.3	Kebergantungan Suhu Koefisien Difusi .....	99
5.4	Analisis Struktur Besi dengan CNA.....	100
	DAFTAR PUSTAKA.....	101
	<b>LAMPIRAN</b>	
	Tabel Periodik Unsur.....	vii
	Tabel Massa Atom.....	viii
	Tabel Konstanta Kisi.....	ix
	Tabel Titik leleh Logam.....	xi
	Tabel Konversi Energi.....	xiii
	Tabel Konstanta Universal.....	xv
	<b>Biografi Penulis</b> .....	xvii
	<b>Ringkasan Buku</b> .....	xix



## ENERGI NUKLIR DAN RISET REAKTOR

### PENDAHULUAN

Pengembangan Industri yang kuat dan mandiri suatu negara sangat berkaitan dengan pengembangan sains dan teknologi suatu bangsa. Namun demikian dukungan sains dan teknologi ini tidak cukup, yang lebih penting adalah dukungan sumber energi yang mampu menggerakkan pertumbuhan cepat industri itu sendiri. Sumber energi ini khususnya energi listrik sangat diperlukan untuk menjalankan industri berat (skala besar) seperti industri otomotif, elektronika dan sebagainya. Untuk Indonesia sumber energi listrik dewasa ini masih mengandalkan pembangkit listrik seperti PLTA, PLTU, PLTD, PLTPB (Panas Bumi). Seiring makin meningkatnya kebutuhan energi listrik sementara semakin sedikit persediaan sumber energi minyak bumi, batubara, gas, dan mengecilnya debit air sungai akibat perubahan iklim dunia dan kelestarian alam (yang kesemuanya merupakan sumber energi untuk pembangkit listrik), maka temuan-temuan baru perlu dilakukan untuk mendapatkan alternatif sumber energi pembangkit listrik. Beberapa alternatif baru sudah dikembangkan yaitu memanfaatkan sumber energi surya untuk PLTS (Tenaga Surya), energi gelombang untuk PLTG (Gelombang), energi angin untuk PLTA (Angin). Akan tetapi listrik yang dihasilkan masih jauh dari harapan untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus bertambah. Negara-negara maju telah dikembangkan sumber energi listrik alternatif yang sangat melimpah dan sangat efisien yaitu PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) yang memanfaatkan panas hasil proses nuklir baik fisi inti/nuklir untuk memproduksi uap air pemutar generator listrik. Lepas dari isu lingkungan dan keselamatan reaktor, negara-negara barat dan beberapa negara menengah sekatrang ini terus mengembangkan PLTN dengan berbagai desain baru untuk memenuhi kebutuhannya yang semakin meningkat pesat.

### 1.1 PLTN di Dunia

Negara-negara maju dan beberapa negara menengah bahkan negara berkembang dewasa ini telah dan terus mengembangkan teknologi nuklirnya. Tabel 1.1 menunjukkan distribusi pembangunan PLTN yang dilakukan oleh banyak negara yang ada di dunia. Untuk Indonesia

## BAB 2

# PROGRAM MOLDY

### Pendahuluan

Ada banyak program simulasi dinamika molekul yang telah dibuat oleh pengembang software, yang sangat mungkin seorang peneliti juga. Software-software simulasi dinamika molekul pada awalnya mungkin dikembangkan menurut kebutuhan riset masing-masing pengembangnya namun kemudian disempurnakan dan distribusikan ke publik baik secara *free* maupun berbayar. Software-software dibuat mulai dari menyediakan fasilitas/utiliti komputasi yang beragam, dilengkapi dengan GUI sampai hanya dibuat secara sederhana namun measih mengedepankan akurasi hasil perhitungan. Pada intinya seseorang perlu memilih dari sekian banyak code atau software dinamika molekul yang ada, memilih sesuai kebutuhannya untuk tujuan riset tertentu. Pada buku ini, materi yang disajikan yang merupakan hasil penelitian simulasi dinamika molekul, menggunakan program MOLDY [1] yang merupakan program yang cukup sederhana, sedikit fasilitas perhitungan yang disediakan, tidak menyediakan GUI, namun hasil perhitungannya sangat akurat.

### 2.1 Program Simulasi Dinamika Molekul MOLDY

Program ini merupakan komputer untuk simulasi dinamika molekul materi zat mampat (*condensed matter*). Dapat digunakan untuk menangani berbagai konfigurasi material, baik molekul poliatom yang rigid, atom atau ion dan campurannya. Menggunakan konsep "link cell" untuk menghitung "short-range forces" dan teknik "Ewals sum" untuk menghitung gaya-gaya elektrostatik "long-range". Moldy menyediakan simulasi dengan ensambel NVE, NVT, NPT, N $\sigma$ H dan N $\sigma$ T menggunakan metode "Nos'e-Hoover thermostat" dan "Parrinello dan Rahman constant-stress". Sel MD untuk MOLDY tidak harus cubic dan dapat digunakan untuk fase padat maupun cairan. Dapat digunakan untuk simulasi sistem besar dengan limit komputasi bergantung pada memori komputer. Secara umum tidak ada batasan pada yang ingin disimulasikan baik

## METODE DINAMIKA MOLEKUL

### PENDAHULUAN

Sifat-sifat material dapat dipelajari lebih baik dengan metode dinamika molekul jika kita meninjau pada skala molekul dimana dengan eksperimen pada skala ini tidak mudah diamati (Aral, 2003). Metode dinamika molekul pertama kali dikembangkan pada akhir tahun 1950 an di Lawrence Radiation Laboratory USA oleh Alder dan Wainwright, untuk mempelajari interaksi potensial *hard spheres* (Oluwajobi, 2012). Beberapa tahun kemudian Stillinger dan Rahman pada 1974 berhasil mengembangkan simulasi MD yang pertama kali untuk sistem yang lebih realistis menggunakan potensial Lennard-Jones. Sejak itu metode MD ini telah berkembang pesat dan telah digunakan untuk diterapkan ke berbagai fenomena kimia fisika bahkan pada bidang farmasi, biologi, geofisika dsb.

Hal terpenting dari metode MD adalah bagaimana menetapkan dan mendefinisikan potensial interaksi antar atom yang sesuai untuk obyek (sistem material) yang diteliti. Dalam metode dinamika molekul akan dihitung trayektori atom-atom sistem materi selama simulasi. Selanjutnya menggunakan konsep-konsep mekanika statistik akan dihitung besaran-besaran fisis yang ingin diketahui berdasarkan trayektori-trayektori seluruh partikel. Besaran itu seperti energi total sistem, koefisien difusi, panas jenis, entalpi dan sebagainya. Jadi mekanika statistik memberi jembatan antara perilaku mikroskopik material dengan sifat-sifat makroskopik (termodinamik) material. Bagaimana trayektori-trayektori atom dapat ditentukan? Dalam metode dinamika molekul trayektori biasanya diperoleh dari solusi persamaan gerak klasik partikel seperti hukum gerak Newton  $F = ma$ . Lebih lanjut karena untuk sistem konservatif gaya dapat turunkan dari fungsi energi potensial maka dalam metode MD, kemampuan mendefinisikan fungsi energi potensial yang tepat untuk sistem yang diamati adalah hal yang sangat penting. Sangat sering simulasi MD dapat mereproduksi kondisi eksperimen sehingga hasil perhitungannya dapat dibandingkan dengan hasil pengamatan eksperimen.

## SIMULASI KOROSI BESI DALAM LBE

### PENDAHULUAN

Fenomena korosi baja karena berinteraksi dengan logam cair seperti timbal atau LBE adalah jenis korosi yang tidak biasa. Definisi korosi di atas harus diperluas dengan untuk kasus logam cair ini. Pada baja yang bersinggungan dengan logam cair diketahui memperlihatkan adanya kelarutan yang tinggi pada komponen-komponennya (Fe, Ni, Cr) yang ditafsirkan menyebabkan material tersebut mengalami korosi (Zhang dan Li, 2008) dimana proses korosinya tidak melibatkan transfer elektron (Manley, 1959). Korosi seperti ini dikenal sebagai *hot corrosion* yang mana proses yang menyertai korosi adalah dapat ditinjau sebagai proses difusi atom-atom tanpa perlu melibatkan transfer elektron. Oleh karena itu proses korosi baja dalam logam cair dapat dipelajari juga menggunakan simulasi dinamika molekul klasik dan menganggap atom-atom yang terlibat adalah atom-atom netral dalam sistem materi. Proses kimia fisika yang terjadi hanya diwakili oleh fungsi potensial saja.

### 4.1 Merancang Simulasi Korosi

Secara garis besar kita dapat meneliti korosi baja dalam logam cair dengan metode simulasi MD dengan beberapa **tahapan pemikiran dan asumsi** sebagai berikut:

- Korosi ditinjau sebagai proses difusi atom-atom komponen baja (Fe, Cr, Ni, dll)
- Simulasi dilakukan pada berbagai suhu dengan program MOLDY dengan ukuran material tertentu (jumlah atom tertentu)
- Medium logam cair dapat dibuat dengan mensimulasikan logam sampai diatas titik lelehnya lalu diteruskan simulasi ke suhu yang lebih rendah dimana studi korosi ingin dilakukan misalnya pada 750 C.
- Pada tahap awal disimulasikan besi murni atau baja murni tanpa pendingin dan dihitung koefisien difusinya
- Kemudian dimasukkan unsur penghambatan korosi misalnya oksigen dalam berbagai konsentrasi, kemudian dihitung koefisien difusi komponen-komponen baja
- Perhitungan koefisien difusi dapat digunakan relasi Einstein dan Formula Arrhenius

# SIMULASI PENGHAMBATAN KOROSI

### PENDAHULUAN

Pada Bab 4 lalu kita sudah mensimulasikan korosi besi dalam logam cair. Kita sudah melihat bahwa efek logam cair mampu menyebabkan korosi besi sangat kuat. Logam cair suhu tinggi menyebabkan kerusakan permukaan besi dengan cepat. Problem yang muncul kemudian adalah bagaimana menghambat korosi yang terjadi? Eksperimen menyatakan bahwa pemberian oksigen pada sistem material mampu menghambat korosi dengan baik. Namun pada konsentrasi berapakah penghambatan itu bisa dilakukan maksimal? Bagaimana cara memberikan oksigen? Apakah pada setiap temperatur perlakuan penghambatan berbeda? Nah pada bab 5 ini kita akan mendiskusikan cara menghambat korosi logam ini. Kita khususkan fenomena korosi besi dalam PbBi.

#### 5.1 Konsentrasi Oksigen Yang Disimulasikan

Pendingin Pb cair dipersiapkan mengandung 45006 buah atom Pb yang diperoleh dari hasil modifikasi simulasi logam cair Pb pada sub Bab 4.1 sebelumnya menggunakan code `box.cpp` dan `hole.cpp`. Bulk besi kristal bcc ( $17 \times 17 \times 17$  unit kristal) 10745 atom hasil code `bcc.cpp` kemudian ditempatkan di tengah-tengah logam cair, seperti pada Gambar 4.1 Simulasi bertujuan untuk melihat efek injeksi oksigen ke dalam logam cair Pb dan pengaruhnya pada korosi besi. Setiap simulasi untuk kandungan oksigen yang berbeda dilakukan pada suhu sama yaitu  $750 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pemilihan suhu ini agar hasilnya dapat dibandingkan dengan data eksperimen yang ada seperti yang dilaporkan oleh Zhang dan Li (2008). Demikian juga untuk mengakomodasi perilaku sistem pada suatu temperatur sangat tinggi yang dapat terjadi pada keadaan-keadaan abnormal di dalam reaktor dimana dapat terjadi peningkatan suhu yang sangat tinggi antara  $700 \text{ }^\circ\text{C}$  -  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  manakala terjadi anomali temperatur transient dalam reaktor (Rivai dan Takahashi, 2010). Dari sistem Pb cair ini sebagian atom Pb dapat diganti atom Bi untuk membuat PbBi dengan komposisi 45 % Pb dan 55 %Bi.

# LAMPIRAN

Tabel Periodik Unsur-Unsur

<https://www.qmul.ac.uk/sbes/iupac/AtWt/table.html>

1																	18
1 H 1.008																	2 He 4.003
3 Li 6.94	4 Be 9.0122											5 B 10.81	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.180
11 Na 22.990	12 Mg 24.305	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al 26.982	14 Si 28.085	15 P 30.974	16 S 32.06	17 Cl 35.45	18 Ar 39.948
19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.956	22 Ti 47.867	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.845	27 Co 58.933	28 Ni 58.693	29 Cu 63.546	30 Zn 65.38	31 Ga 69.723	32 Ge 72.630	33 As 74.922	34 Se 78.97	35 Br 79.904	36 Kr 83.798
37 Rb 85.468	38 Sr 87.62	39 Y 88.906	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57-71 * 178.49	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89-103 f (287)	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (263)	107 Bh (264)	108 Hs (265)	109 Mt (266)	110 Ds (267)	111 Rg (268)	112 Cn (269)	113 Nh (270)	114 Fl (271)	115 Mc (272)	116 Lv (273)	117 Ts (274)	118 Og (284)

\* Lanthanide series

57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05	71 Lu 174.97
--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

f Actinide series

89 Ac (227)	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 Nu (260)	103 Lr (260)
-------------------	--------------------	--------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

## BIOGRAFI PENULIS

**(A) Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si** lahir di Srengat, Blitar, Jawa Timur, pada 25 Desember 1969. Sekolah SD, SMP diselesaikan di Srengat kemudian SMA diselesaikan di kota Blitar, tepatnya di SMAN 1 Blitar. Kemudian melanjutkan kuliah pada Jurusan Fisika, FMIPA, UGM di Yogyakarta. Lulus kuliah S1 dengan menyelesaikan skripsi teori yang berjudul Aspek Klasik dan Kuantum Optika Nonlinear dengan pembimbing Prof. Muslim, Phd dan Dra. Zahara, MSc. Setelah lulus kuliah sempat bekerja di dunia Industri di beberapa *multinational company* seperti SINOCA (Eks AT & T), Quantum Matshushita Ltd dan Symens Component Electronics di BATAM. Beberapa tahun di industri kemudian pada tahun 1999 memutuskan untuk kembali ke dunia pendidikan yaitu bekerja di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember. Sejak SMA menyenangi dunia pemrograman komputer dengan bahasa pemrograman yang pertama dipelajari adalah BASIC. Kuliah lanjut S2 diselesaikan di Jurusan Fisika FMIPA ITB pada 2003 dengan mengambil thesis mengenai metode komputasi Bruckner Hartree-Fock untuk aplikasi problem hamburan nuklir dengan pembimbing Prof. Zaki Su'ud. Kuliah S3 juga diselesaikan di Jurusan Fisika FMIPA ITB Bandung pada 2012 mengambil topik disertasi aplikasi metode simulasi dinamika molekul untuk mengamati proses dan penghambatan korosi besi dalam logam cair dalam reaktor nuklir, dengan promotor utama Prof. Zaki Suud, co-promotor Prof. Mikrajudin Abdullah dan Dr. Widayani.

Pelatihan metode komputasi yang pernah diikuti adalah *Workshop on Material Computation* di JNCASR, Bangalore, India pada 2005 yang diselenggarakan ICTP Italia. Kegiatan *visiting researcher* yang pernah diikuti adalah ke ENEA Roma, Italia pada Oktober-Desember 2010 untuk memperdalam metode simulasi dinamika molekul paralel menggunakan ENEA grid supercomputing dengan supervisor Dr. Massimo Celino. Kegiatan *visiting research* juga kembali diikuti di Lab Theoretical Nanotechnology, ISIR, Osaka University, Nov 2017 - Januari 2018 dengan supervisor prof. Tamio Oguchi. Beberapa publikasi Jurnal Internasional dapat ditelusuri pada [www.google.com](http://www.google.com) seperti pada *Annals of Nuclear Energy*, *Turking Journal of Physics*, *Journal of Physics: Conference Series IOP*. Beberapa buku yang sudah diterbitkan adalah Analisis Vektor dan Tensor (UNEJ Press), Fisika Komputasi: Metode Simulasi Dinamika Molekul dan Aplikasinya (UNEJ Press), Optika (Universitas Terbuka) dll. Artoto Arkundato aktif mengajar beberapa matakuliah seperti Fisika Kuantum, Fisika Inti, Fisika Komputasi, dan Mekanika. Artoto Arkundato juga aktif melakukan riset komputasi material dengan mendapatkan bantuan dana riset dari DRPM DIKTI Republik Indonesia melalui skim hibah PD, hibah Doktor dan hibah Kompetensi.

Penulis menikah dengan Dwi Lestari, dikaruniai 3 orang anak, Khalif Ardian Syah (2000), Nadhif Hasyim Ardian (2006) dan Belva Arawinda Zahra (2015).

### **(M) Dr. Fiber Monado, S.Si.M.Si**

Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si. dilahirkan pada tanggal 23 Februari 1970 dari Ibunda Shofiah dan Ayah Mustopa Hasan, di Palembang, Sumatera Selatan. Ia lulus dari SMA Negeri 8 Palembang pada tahun 1988. Penulis memperoleh gelar Sarjana pada tahun 1994 dari Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya, gelar Magister dengan kajian khusus Fisika Komputasi pada tahun 2000 di Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Bandung, dan Gelar Doktor Fisika dengan kepakaran Desain Konsep Reaktor Nuklir Generasi Lanjut pada tahun 2014 di tempat yang sama, dengan promotor Prof. Dr. Zaki Su'ud dan co-promotor Prof. Dr. A. Waris dan Dr. Khairul Basar. Sejak tahun 1995 penulis menjadi anggota staf pengajar di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya. Penulis menikah dengan Idha Royani pada tahun 1999 dan mempunyai dua orang anak Nanda Fibryani dan Fida Khansa Zahirah.

**(Z) Prof. Zaki Suud** adalah dosen aktif Jurusan Fisika FMIPA ITB Bandung. Menyelesaikan S1 pada Jurusan Fisika FMIPA ITB Bandung pada 1986. Studi lanjut S2 pada Magister Engineering, Dept. of Nuclear Engineering, Tokyo Inst. of Technology (1992 sedangkan Studi lanjut S3 pada Dep. of Nuclear Engineering, Tokyo Institute of Technology (TIT) Jepang yang diselesaikan pada 1995. Beberapa matakuliah penting yang pernah berikan adalah Fisika Reaktor, Komputasi Nuklir, Fisika Inti, dan Mekanika Kuantum. Prof. Zaki Suud aktif meneliti desain reaktor nuklir dan merupakan salah satu pakar fisika reaktor di Indonesia serta telah membimbing serta meluluskan banyak mahasiswa doktoral di Fisika FMIPA ITB.

## REFERENCES PENELITIAN

- [1] Levent Can, "Thesis: Analysis of Coolant Options for Advanced Metal Cooled Nuclear", Department of Physics, Naval Postgraduate School, Monterey, California, (2006).
- [2] Zhang, J. and Li, N., "Review of the studies on fundamental issues in LBE", *J. Nucl.Mater.* 373 351-377 (2008).
- [3] Yun Gao, Minoru Takahashi, Masao Nomura, "Characteristics of iron and nickel diffusion in molten lead-bismuth eutectic", Advance Publication by J-STAGE, The Japan Society of Mechanical Engineers, DOI:10.1299/mej.15-00149, J-STAGE Advance Publication date : 27 October, (2015).
- [4] Peter Elliott, "Choose Materials for High-Temperature Environments", in [www.aiche.org/cep](http://www.aiche.org/cep), (February 2001).
- [5] <http://worldjournals.org/Articles/Elinvar?&Words=Thermal%20wheel>
- [6] Soontrapa, C., Chen, Y., "Optimization approach in variable-charge potential for metal/metal oxide systems", *Comput. Mater.Sci.* 46 (4), 887, (2009)
- [7] Arkundato, A., Su'ud, Z., Mikrajudin, A., Widayani "Computational study: Reduction of iron corrosion in lead coolant of fast nuclear reactor", *AIP Conference Proc.*, Vol.1454, pp.65, (2012) USA
- [8] Arkundato, A., Su'ud, Z., Mikrajudin, A., Widayani, Celino, M. "Numerical Study: Iron Corrosion-Resistance in Lead-Bismuth Eutectic Coolant by Molecular Dynamics Method", *AIP Conference Proc.*, Vol. 1448, (2012) USA
- [9] Arkundato, A., Su'ud, Z., Mikrajudin, A., Widayani, " Study of liquid lead corrosion of fast nuclear reactor and its mitigation by using molecular dynamics method", *International Journal of Applied Physics and Mathematics*, Vol. 3, No. 1, January 2013, , Singapore.
- [10] Arkundato, A., Su'ud, Z., Mikrajudin, A., Widayani, "Molecular dynamic simulation on iron corrosion-reduction in high temperature molten lead-bismuth eutectic", *Turkish Journal of Physics*, DOI: 10.3906/fiz-1112-12, (2013)
- [11] Arkundato, A., Su'ud, Z., Mikrajudin, A., Widayani, Celino, M., "Inhibition of iron corrosion in high temperature stagnant liquid lead: A molecular dynamics study", Vol.62, Pages 298-306, *Annals of Nuclear Energy*, (2013) Elsevier
- [12] Arkundato, A., Su'ud, Z., Sudarko, Hasan, M., Celino, M., "Molecular dynamics simulation of corrosion mitigation of iron in lead-bismuth eutectic using nitrogen as corrosion inhibitor", *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 622(2015) 012009, (2015), IOP Publishing.
- [13] Zhen, S.,Davies, G.J., "L-J n-m potential energy parameters: calculation of the LJ n-m pot energy parameters for metals", *Phys.Stat.Sol.(a)*,78, 595, (1983).
- [14] Refson, K., "Moldy: A Portable molecular dynamics simulation program for successive and parallel computers", *Comp. Phys. Commun.* 126(3) 309-328, (2000).
- [15] Stukowski, A. "Visualization and analysis of atomistic simulation data with OVITO - the Open Visualization Tool", *Simul. Mater.Sci. Eng.* 18, 2010.



## LAMPIRAN.-LAMPIRAN

### BIODATA KETUA dan ANGGOTA TIM PENGUSUL

#### A. IDENTITAS DIRI KETUA PENELITI

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si.
2	Jenis Kelamin	L
3	Jabatan Fungsional	Lektor
4	NIP/NIK/Identitas lainnya	196912251999031001
5	NIDN	0025126901
6	Tempat, Tanggal Lahir	Blitar, 25 Desember 1969
7	E-mail	a.arkundato@unej.ac.id
8	Nomor Telepon/HP	081220688963
9	Alamat Kantor	Fisika FMIPA Universitas Jember Jl. Kalimantan 37 Jember (68121)
10	Nomor Telepon/Faks	0331334293/0331330225
11	Lulusan yang Telah Dihasilkan	S-1 = 20 orang; S-2 = 1 orang; S-3 = ... orang
12	Nomor Telepon/Faks	0331334293/0331330225
13	Mata Kuliah yang Diampu	1. Fisika Komputasi 2. Metode Numerik 3. Fisika Modern 4. Mekanika 5. Fisika Kuantum 6. Komputasi Atom dan Inti

#### B. Riwayat Pendidikan

	S-1	S-2	S-3
Nama Perguruan Tinggi	UGM	ITB	ITB
Bidang Ilmu	Fisika Teori	Fisika Komputasi	Fisika Komputasi
Tahun Masuk-Lulus	1988-1995	2001-2003	2008-2012
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi	Aspek Klasik dan Kuantum Optika Nonlinear	Perhitungan Grup Konstan Nuklir Dengan Metode Brueckner-Hartree Fock	Studi Korosi Dalam Reaktor Cepat Berpendingin Logam Cair dengan metode MD
Nama Pembimbing/Promotor	Prof. Drs.	Prof. Dr. Zaki Suud	Prof. Dr. Zaki Suud

	Muslim, Ph.D		Prof. Dr. Mikrajuddin Abdullah Dr. Widayani
--	--------------	--	---

### C. Pengalaman Penelitian Dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (Juta Rp)
1	2007	Pembuatan Membran Komposit Berbasis Kitosan Untuk DMFC Fuel Cell	Ristek KMRT	54
2	2008	Perancangan Patient Care Technology Systems (PCTS) Untuk Peningkatan Mutu Pelayanan Pasien Pada Rumah Sakit	Ristek KMRT	200
3	2008	Rancang-Bangun Tensiometer Terkomputerisasi untuk Tegangan Interfasial dan Sudut Kontak Liquid-liquid/solid Menurut Model ADSA	Hibah Bersaing	45
4	2009	Desain Dan Pengembangan CAR (Computerized Advanced-Reactometer):Integrasi Metode Spektroskopi Optik dan SFT (Stopped Flow Technique)Untuk Aplikasi Pengukuran Reaksi Kimia Cepat	Hibah Bersaing	47
5	2013	Pengembangan Komputasi Skala Besar Dan Pemodelan Reduksi Laju Korosi Baja Pada Sistem Transfer Panas Reaktor Berbasis <i>Coolant</i> Logam Cair Menggunakan Metode Dinamika Molekul	Hibah Doktor	45
6	2014	Simulasi Dinamika Molekul Berbasis <i>Cloud Computing</i> Performa Tinggi Untuk Investigasi Korosi Material <i>Cladding</i> Reaktor Cepat Dalam Pendingin Logam Cair	Hibah Fundamental	32,5
7	2015	Penghambatan Korosi besi dalam logam cair dengan inhibitor Gas Mulia (Tugas Akhir Mahasiswa)	Mandiri	-

### D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (Juta Rp)
1	2013	Pelatihan Eksperimen Kelistrikan Jantung untuk Stikes Bakti Negara Jember	Mandiri	1
2	2015	16M Perkotaan Berpenghasilan Rendah untuk Mengatasi Permasalahan Akses Terhadap Air Bersih	DP2M	47

**E. Publikasi Artikel Ilmiah Dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir**

No.	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volume/Nomor/Tahun
1	Corrosion Study of Fe in a Stagnant Liquid Pb By Molecular Dynamics Methods	AIP Conference Proc.	Vol.1244, pp. 136-144, 2010
2	Computational study: Reduction of iron corrosion in lead coolant of fast nuclear reactor	AIP Conference Proc.	Vol.1454, pp. 65, 2012
3	Numerical Study: Iron Corrosion-Resistance in Lead-bismuth Eutectic Coolant by Molecular Dynamics Method	AIP Conf. Proc	Vol. 1448, 2012
5	Study of liquid lead corrosion of fast nuclear reactor and its mitigation by using molecular dynamics method	International Journal of Applied Physics and Mathematics	Vol.3 No.1, 2013.
6	Molecular dynamic simulation on iron corrosion-reduction in high temperature molten lead-bismuth eutectic	Turkish Journal of Physics	DOI: 10.3906/fiz-1112-12, 2013
7	Inhibition of iron corrosion in high temperature stagnant liquid lead: A molecular dynamics study	Annals of Nuclear Energy	Volume 62, December 2013, Pages 298–306,
8	Molecular dynamics simulation of corrosion mitigation of iron in LBE using nitrogen as corrosion inhibitor	Journal of Physics: Conference Series	622(2015) 012009.

**F. Pemakalah Seminar Ilmiah (Oral Presentation) dalam 5 Tahun Terakhir**

No.	Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1	APS (Asean Physics Symposium)	Corrosion Study of Fe in Lead-Bismuth Eutectic: Self-Diffusion Calculation by Molecular Dynamics Methods	Juli 2009, ITB
2	ICANSE	Corrosion Study of Fe in a Stagnant Liquid Pb by Molecular Dynamics Methods	Oktober 2009, Grand Aquilla Bandung
3	ICPAP	Computational Study: Reduction of Iron Corrosion in Lead Coolant of Fast Nuclear Reactor	Nov 2011, ITB
4	ICANSE	Numerical Study: Iron Corrosion-Resistance in Lead-Bismuth Eutectic Coolant by Molecular Dynamics Method	Nov 2011, Hotel Aston, Bali
5	ICPIAM	Effect of temperature on the corrosion inhibition of iron in liquid lead using oxygen inhibitor: studied by MD	UNAIR, 27 October 2016, Hotel Santika Premiere, Surabaya,

		simulation	Indonesia
6	ICCSE	Application Packmol and Moldy for nuclear corrosion phenomena study	ITB, 2017

#### G. Karya Buku dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
1	Gelombang	2007	9 Bab	ISBN 979-689-992-2 Universitas Terbuka
2	Optika	2007	9 Bab	ISBN 979-011-079-0 Universitas Terbuka
3	Analisis Vektor dan Tensor	2011	228	ISBN 978-602-9030-02-0 Universitas Jember

#### H. Perolehan HKI dalam 5–10 Tahun Terakhir

No.	Judul/Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
-----	----------------	-------	-------	------------

#### I. Pengalaman Merumuskan Kebijakan Publik/Rekayasa Sosial Lainnya dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tahun	Tempat Penerapan	Respon Masyarakat
-----	--	-------	------------------	-------------------

#### J. Penghargaan dalam 10 tahun Terakhir (dari pemerintah, asosiasi atau institusi lainnya)

No.	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun
1	LULUSAN CUMLAUDE Program Doktor Fisika	Pasca Sarjana ITB	2012
2	Satya Lencana X Tahun	Pemerintah RI	2016

Jember, 05 Desember 2017

Pengusul,



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

NIP. 196912251999031001

## A. IDENTITAS DIRI ANGGOTA PENELITIAN 1

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Dr. Fiber Monado, S.Si.,M.Si
2	Jabatan Fungsional	Lektor
3	NIP/NIDN	197002231995121002 / 0025027002
4	Tempat dan Tanggal Lahir	Palembang, 23-02-1970
5	Alamat Rumah	Komp. Atlit Amen Mulia Blok F No. 36 Rt 59, Kelurahan 15 Ulu, Palembang 30256
6	Nomor telepon	0711-516652
7	Nomor HP	0812-7857216
8	Alamat Kantor	Jurusan Fisika F.MIPA Universitas Sriwijaya Kampus Indralaya, Ogan Ilir, Sumatera Selatan.
9	Nomor Telepon/Faks	0711-580743/580268
10	E-mail	fibermonado@unsri.ac.id /Fiber_ms@yahoo.com
11	Mata kuliah yang diampu	1. Fisika Dasar 2. Fisika Komputasi 3. Fisika Komputasi Lanjut 4. Fisika Inti 5. Fisika Reaktor Nuklir

## II. RIWAYAT PENDIDIKAN

	S-1	S-2	S-3
Nama Perguruan Tinggi	UNSRI	ITB	ITB
Bidang Ilmu	FISIKA	FISIKA Komputasi	FISIKA NUKLIR
Tahun Masuk	1989	1997	2009
Tahun Lulus	1994	2000	2014
Judul Skripsi/ Tesis/ Disertasi	Model Gaya Gesek Benda Jatuh dalam Fluida Viskos	Hamiltonian dan Gejala Chaos	Desain dan Optimasi GFR Berdaya 300-350 MWt Berumur Panjang Berbahan Bakar Uranium Alam Menggunakan Skema Burnup MCANDLE
Nama Pembimbing	Drs. Arsali, M.Sc	Prof. Dr. B. Suprpto	Prof. Dr. Zaki Su'ud Dr. Abdul Waris Dr. Khairul Basar

## III. Pengalaman Penelitian dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jml(Juta Rp)
1	2015	Desain Konsep Teras Reaktor Nuklir untuk Produksi Hidrogen dan Daya Listrik Menggunakan Skema <i>Burnup</i> MCANDLE Tipe B	Unsri	47.5

**IV. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir**

No	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber	Jml(Juta Rp)
1	2015	Pemanfaatan Aplikasi Perangkat Lunak Excell dalam bidang Fisika kepada Guru-guru Fisika di Kab. Ogan Ilir	Unsri	4

**V. Publikasi Artikel Ilmiah dalam Jurnal dalam 5 tahun terakhir**

No	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volume/Nomor/ Tahun
1	Optimization of Small Long Life Gas Cooled Fast Reactors With Natural Uranium as Fuel Cycle Input	Applied Mechanics and Materials, Trans Tech Publications, Switzerland	Vol. 260-261 (2013), p.307
2	Application of Modified CANDLE Burnup to Very Small Long Life Gas-cooled Fast Reactor	Advanced Materials Research	Vol. 772 (2013). Pp. 501-506.

**F. Pemakalah Semiar Ilmiah dalam dalam 5 tahun terakhir**

No	Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1	The 3rd International conference on advances in nuclear science and engineering (ICANSE)	Preliminary Safety Analysis of Small Long Life Gas Cooled Fast Reactors Without on-Site Refueling	November 2011, Denpasar, Bali
2	Seminar Fisika Nasional	Desain Konsep Reaktor PLTN Jenis GFR 333 MWt Berbasis Bahan Bakar Uranium Alam	Juli 2012, Unsri, Palembang
3	The Fourth International Conference of Mathematics and Natural Sciences (ICMNS)	Preliminary Design Study of the Long Life Very Small Gas-Cooled Fast Reactor Using Modified Candle Burnup	November 2012, ITB, Bandung
4	The 4 <sup>th</sup> International Conference on Advances in Nuclear Science and Engineering (ICANSE)	Power Flattening on Modified CANDLE Very Small Long Life Gas-cooled Fast Reactor	September 2013, Bali, Indonesia
5	International Nuclear Science Technology and Engineering Conferences (iNuSTEC 2013 )	Conceptual Design Study on Very Small Long-Life Gas Cooled Fast Reactor using Metallic Natural Uranium-Zr as Fuel Cycle Input	Oktober 2013, Kuala Lumpur, Malaysia.
6	The Japanese University Network for Global Nuclear Human Resource Development (JUNET-GNHRD) Program	Modified CANDLE Small Long Life Gas-cooled Fast Reactor	Pebruari 2014, Bandung, Indonesia.

7	The 5 <sup>th</sup> International Conference on Advances in Nuclear Science and Engineering (ICANSE)	Conceptual Design of Small GFR Core Using MCANDLE-B Burnup Scheme	November 2015, Bandung, Indonesia
---	--	---	-----------------------------------

**G. Karya Buku dalam 5 tahun terakhir**

No	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
1	-	-	-	-

**H. Perolehan HKI dalam 5-10 tahun terakhir**

No	Judul/Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
1	-	-	-	-

**I. Pengalaman Merumuskan Kebijakan Publik/Rekayasa Sosial Lainnya dalam 5 Tahun Terakhir**

No	Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tahun	Tempat Penerapan	Respon Masyarakat
1	-	-	-	-

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

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Hibah Fundamental

Palembang, 08 Desember 2017



( Dr. Fiber Monado, S.Si.,M.Si )

## A. IDENTITAS DIRI ANGGOTA PENELITIAN 2

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Dr. Supeno, S.Pd, M.Si
2	Jabatan Fungsional	Lektor Kepala
3	NIP	197412071999031002
4	NIDN	0007127401
5	Tempat dan Tanggal Lahir	Blitar, 07 Desember 1974
6	Jenis Kelamin	Laki-laki
7	Status Perkawinan	Kawin
8	Agama	Islam
9	Golongan / Pangkat	IVa / Pembina
10	Perguruan Tinggi	Universitas Jember
11	Jurusan/Fakultas	PFisika-FKIP
12	Alamat	Jl. Kalimantan No. 37 Kampus Tegalboto Jember 68121
13	Telp./Faks.	0331-334988/0331-334988
14	Alamat Rumah	Perumahan Pondok Gede Permai DB-02 Jember 68123
15	Nomor HP	081330561252
16	Alamat e-mail	supeno.fkip@unej.ac.id
17	Matakuliah yang di ampu	Teori Medan S2 Fisika S2 Gelombang S1 Mekanika S1 Geofisika S1 Pengembangan Kurikulum

## B. RIWAYAT PENDIDIKAN PERGURUAN TINGGI

Tahun Lulus	Jenjang	Perguruan Tinggi	Jurusan / Bidang Studi
1997	S1	IKIP Malang	Pendidikan Fisika
2005	S2	ITS Surabaya	Fisika
2016	S3	UNESA Surabaya	Pendidikan Sains

## C. PENGALAMAN PENELITIAN

Tahun	Judul Penelitian	Jabatan	Sumber Dana
2017	Peningkatan Keterampilan Abad 21 Mahasiswa Prodi Pendidikan IPA Melalui Pembelajaran Berbasis Penelitian dengan Model Inkuiri Disertai Hypnoteaching Method	Ketua	IDB Project
2016	Pengembangan Bahan Ajar Berbasis Information and	Pembina	Penelitian



	Communications Technology (ICT) tentang Budi Daya dan Pengolahan Tebu untuk Membelajarkna IPA dan Kreativitas Ilmiah Siswa SMP		Pemula UNEJ
2016	Pengembangan Bahan Ajar Berbasis Metode Hypnoteaching untuk Memotivasi Siswa SMP dalam Belajar IPA pada Materi Energi Terbarukan	Pembina	Penelitian Pemula UNEJ
2015 s/d 2016	Pengembangan Model Pembelajaran Fisika untuk Mengajarkan Keterampilan Berargumentasi Ilmiah dan Meningkatkan Penguasaan Konsep Fisika Siswa SMK	Ketua	Hibah Bersaing Dikti
2015	Moodle (Modular Object Oriented Dynamic Learning Environment): Pembelajaran Fisika Berbasis Elearning Sebagai Upaya Inovatif Untuk Mendukung Implementasi Kurikulum 2013	Pembimbing	Hibah PKM Dikti
2015	Implemetasi "Seven Habits of Highly Effective People" (Tujuh Kebiasaan Manusia yang Sangat Efektif) pada Pembelajaran Fisika untuk Membangun Kemampuan Abad 21	Pembimbing	Hibah PKM Dikti
2014	Inovasi Pembelajaran Tematik Terpadu Melalui Pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) di Sekolah Dasar	Pembimbing	Hibah PKM Dikti
2013	Disaster Folk Game (D-FOG): Media Inovatif Manajemen Bencana Berbasis Permainan Rakyat sebagai Upaya untuk Menumbuhkan Kesadaran Preventif dan Responsif Kebencanaan Sejak Dini	Pembimbing	Hibah PKM Dikti
2012	Pembelajaran PBDM (Physics Based on Disaster Management) sebagai Upaya Inovatif-Solutif dalam Menumbuhkan Soft Power secara Dini terhadap Kesadaran Preventif dan Responsif Kebencanaan	Pembimbing	Hibah PKM Dikti
2011	Efektifitas Penerapan Kurikulum PGMIPA BI terhadap Peningkatan Kemampuan Akademik dan Vokasional Mahasiswa PMIPA FKIP UNEJ	Anggota	Hibah PGMIPABI Dikti
2010	Pengembangan Dan Penerapan Authentic Assessment Untuk Penjaminan Mutu Pembelajaran Berorientasi Pada Terwujudnya Pendidikan Guru Fisika Berstandar Internasional	Ketua	Hibah PGMIPABI Dikti
2009	Asesmen Potensi Energi Berbasis Mitigasi Bencana Di Lereng Pegunungan Argopuro Menggunakan Integrasi Metode Geomorfologi Dan Geofisika	Anggota	Hibah Penelitian Stranas Dikti
2009	Pengukuran Geofisika Untuk Tata Guna Lahan Di Kecamatan Panti, Kabupaten Jember	Anggota	Hibah Bersaing Dikti

2009	Inventarisasi Potensi Sumberdaya Mineral Di Jember Menggunakan Metode Resistivitas	Ketua	Hibah Pekerti Dikti
2008	Pengukuran Geografi Untuk Tata Guna Lahan Di Kecamatan Panti, Kabupaten Jember	Anggota	Hibah Bersaing Dikti
2008	Inventarisasi Potensi Sumberdaya Mineral Di Jember Menggunakan Metode Self potencial	Ketua	Hibah Pekerti Dikti
2007	Aplikasi Metodologi Geolistrik Dan GPR Untuk Evaluasi Lanjut Terhadap Sumber Anomali Medan Potensial (Kajian Tentang Potensi Sumber Daya Mineral Di Daerah Silo Kabupaten Jember)	Anggota	Hibah KNRT
2007	Pemetaan Zona Potensi Bencana Tanah Longsor Untuk Kegiatan Mitigasi Dengan Menggunakan Metode Geofisika Terpadu	Anggota	Hibah Pekerti Dikti
2006	Interpretasi Data Geolistrik Resistivitas untuk Karakterisasi Sifat Fisis Tanah Pertanian	Ketua	Hibah Penelitian BBI Dikti
2006	Pemetaan Zona Potensi Bencana Tanah Longsor Untuk Kegiatan Mitigasi Dengan Menggunakan Metode Geofisika Terpadu	Anggota	Hibah Pekerti Dikti
2005	Meningkatkan Pemahaman Mahasiswa Terhadap Materi Pembelajaran Mata Kuliah Fisika Statistik Dengan Memanfaatkan Animasi Interaktif	Ketua	Hibah SP4 PMIPA FKIP Universitas Jember
2005	Penentuan Posisi Kebocoran Air dengan Menggunakan Metode Self Potential (SP)	Ketua	Hibah Dana DIPA Universitas Jember

#### D. KARYA TULIS ILMIAH

Tahun	Judul	Penerbit/Jurnal
2017	Students' Argumentation Skills through Pma (Penyelesaian Masalah Argumentatif) Learning in Vocational School	The International Journal of Social Sciences and Humanities Invention
2017	Penalaran Berbasis Bukti dalam Pembelajaran Fisika	Jurnal Pembelajaran dan Pendidikan Sains (JPPS)
2015	Materi Pokok Pengembangan Kurikulum dan Pembelajaran Fisika; Edisi 2 (ISBN 978-979-011-964-2)	Universitas Terbuka Jakarta

2014	Fisika Dasar 2 (ISBN 9790112475)	Universitas Terbuka Jakarta
2010	Materi pokok materi kurikulum fisika SLTP (ISBN 978-979-011-317-6)	Universitas Terbuka Jakarta
2010	Mekanika (ISBN 979-8176-95-2)	Jember University Press
2009	Survei Potensi Sumber Daya Mineral Di Kecamatan Silo Kabupaten Jember Dengan Menggunakan Metode Potensial Diri	Jurnal Fisika Dan Aplikasinya
2008	Penentuan Struktur Bawah Permukaan Daerah Rawan Longsor Berdasarkan Interpretasi Data Resistivitas	Jurnal Ilmu Dasar
2007	Pengembangan Kurikulum dan Pembelajaran Fisika; Edisi 1 (ISBN 979-689-977-9)	Universitas Terbuka Jakarta
2006	Penerapan analisis multiresolusi untuk filter ground roll	Jurnal Foton
2006	Identifikasi kondisi bawah permukaan daerah rawan longsor berdasarkan hasil survei geofisika (studi kasus di desa Kemuninglor Arjasa, kabupaten Jember, Jawa Timur)	Jurnal Saintika
2005	Penentuan Posisi Kebocoran Air Berdasarkan Karakteristik Kelistrikan Tanah	Jurnal Agri-Tek
2005	Penerapan Transformasi Wavelet Diskret untuk Filter Noise pada Data Seismik	Jurnal Flux
2004	Analisis Multiresolusi Sinyal Non Stasioner Berbasis Transformasi Wavelet	Jurnal Saintika

**A. Buku/Bab/Jurnal**

**B. Makalah/Poster**

Tahun	Judul	Penyelenggara
2017	Improving Instructions Ability and Skills of Preservice Science Teachers Through Lesson Study	FKIP Universitas Jember
2016	Kemampuan Menulis Argumen Siswa SMK dalam Pembelajaran Fisika Berbasis Inkuiri	Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Malang
2015	Karakteristik Validitas Isi dan Konstruksi Model Penyelesaian Masalah Argumentatif untuk Membelajarkan Fisika dan Argumentasi Ilmiah	FKIP Universitas Jember
2015	Pengembangan Lembar Kerja Siswa untuk Memfasilitasi Siswa dalam Belajar Fisika dan Berargumentasi Ilmiah	Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Malang
2015	Developing a Textbook Based on Argumentation Skills to Facilitate Students in Physics Instruction	Pascasarjana UNESA

2015	Validitas Model Pembelajaran Fisika untuk Mengembangkan Keterampilan Berargumentasi Ilmiah	Prodi Pendidikan Sains Pascasarjana UNESA
2014	Kemampuan Berargumentasi Ilmiah Mahasiswa Calon Guru Fisika	Prodi Pendidikan Sains Pascasarjana UNESA
2014	Keterampilan Berargumentasi Ilmiah Siswa SMK dalam Pembelajaran Fisika	Prodi Pendidikan Dasar Pascasarjana UNESA
2013	Kemampuan Siswa Menyusun Inferensi dalam Pembelajaran IPA Berorientasi pada Keterampilan Abad 21	Jurusan MIPA FKIP UNEJ
2013	Analisis Miskonsepsi Topik Tekanan Pada Siswa SMA dan Mahasiswa Pendidikan Fisika	Jurusan MIPA FKIP UNEJ
2012	Optimalisasi Hasil Belajar IPA Siswa SMP Melalui Pengembangan Perangkat Pembelajaran IPA Berbasis Information And Communication Technology (ICT)	Pascasarjana UNESA
2012	Penerapan Program Pengalaman Lapangan Berbasis <i>Lesson Study</i> Untuk Meningkatkan Aktivitas Dan Ketuntasan Hasil Belajar Siswa SMP Negeri 3 Jember	Prodi P. Matematika FKIP UNEJ
2012	Penerapan Pendekatan Keterampilan Proses Sains Dengan Model Pembelajaran Inkuiri Terbimbing Dalam Pembelajaran Fisika Di SMA	Prodi P. Matematika FKIP UNEJ
2012	Pengembangan Perangkat Pembelajaran Fisika Berbasis <i>Information And Communication Technology (ICT)</i> Untuk Mengembangkan Karakter Siswa Di SMP	Prodi P. Matematika FKIP UNEJ
2012	Peningkatan Hasil Belajar Siswa Melalui Implementasi Praktik Pengalaman Lapangan (PPL) Berbasis <i>Lesson Study</i>	Prodi P. Matematika FKIP UNEJ
2009	Interpretation of Resistivity Data to Determine Distribution and Geometric of Sulphide Mineralization at Silo Jember East Java	LPPM Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya
2008	Penentuan Sebaran Dan Estimasi Kedalaman Sumber Anomali Potensial Alamiah Di Daerah Baban Kecamatan Silo Kabupaten Jember Dengan Menggunakan Metode <i>Self Potential</i>	Jurusan Fisika FMIPA Universita Malang
2008	Inventarisasi Potensi Sumberdaya Mineral Di Jember Menggunakan Metode <i>Self Potential</i>	Lembaga Penelitian Universitas Jember
2008	Integrasi Pengukuran Geofisika Dan Geoteknik Pada Daerah Rawan Longsor Di Arjasa Kabupaten Jember	Himpunan Ahli Geofisika Indonesia
2008	Studi Awal Potensi Sumber Daya Mineral di Daerah Silo Kabupaten Jember dengan Menggunakan Metode Potensial Diri	Pascasarjana ITS Surabaya
2007	Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Daerah Rawan	Pascasarjana ITS Surabaya

	Bencana Tanah Longsor Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Dan Seismik	
2006	Interpretasi hasil pengukuran geofisika terpadu pada daerah rawan bencana longsor di desa Kemuninglor Arjasa Kabupaten Jember	Himpunan Ahli Geofisika Indonesia
2006	Survey resistivitas untuk menentukan kedalaman batuan andesit di daerah Grujung Bondowoso	Pascasarjana ITS Surabaya
2006	Survey geofisika untuk menentukan distribusi resistivitas lapisan bawah permukaan daerah rawan longsor di desa Kemuninglor Arjasa, kabupaten Jember, Jawa Timur	Pascasarjana ITS Surabaya
2004	Atenuasi Noise Koheren pada Data Seismik dengan Menggunakan Analisis Wavelet	Pascasarjana ITS Surabaya
2004	Application of Multiresolution Analysis Using Wavelet Transform to Attenuate Coherent Noise of Seismic Data	Himpunan Ahli Geofisika Indonesia
2004	Multiresolution Analysis of Seismic Signal Using Wavelet Transform	Himpunan Ahli Geofisika Indonesia

#### E. SEMINAR/LOKAKARYA/SIMPOSIUM

Tahun	Judul Kegiatan	Penyelenggara
2017	Workshop Publikasi Karya Ilmiah	FKIP Universitas Jember
2016	Workshop Pengembangan Perangkat Pembelajaran Berbasis Local Wisdom dan International Best Practices	FKIP Universitas Jember
2016	Workshop Peningkatan Kualitas dan Standarisasi Pembelajaran	FKIP Universitas Jember
2016	Penataaran Lokakarya Nasional Pengelolaan dan Penyuntingan Jurnal Ilmiah	Universitas Negeri Malang
2016	Workshop Pengembangan Perangkat Pembelajaran Berbasis Local Wisdom dan International Best Practice	FKIP, Universitas Jember
2016	Workshop Peningkatan Kualitas dan Standarisasi Pembelajaran	FKIP, Universitas Jember
2016	Pengembangan Kurikulum LPTK KKNi dan SN PT	FKIP, Universitas Jember
2012	Training of Trainer (ToT) Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa	Universitas Jember
2011	Workshop Sosialisasi, Pengelolaan Data Dan Pembelajaran Kegiatan Kesiapan REDD+ Demonstration Activities	Kementerian Kehutanan Dan Universitas Jember

2011	Seminar Nasional Peranan Pendidikan Sebagai Pembentuk Karakter Bangsa	HIMAFI Nuotron FKIP, Universitas Jember
2011	Workshop Penyusunan Teaching Plan Dan Teaching Material Bagi Dosen Pendidikan MIPA	FKIP, Universitas Jember
2011	Sosialisasi Lesson Study Bagi Dosen Pendidikan MIPA	FKIP, Universitas Jember
2011	Sosialisasi Himpunan Fisika Indonesia (HFI)	FMIPA, Universitas Jember
2011	International Conference on Developing Mathematics and Science Curriculum	FKIP Universitas Jember
2010	Workshop Penyusunan Uji Kompetensi Program Profesi Guru Fisika	FKIP Universitas Jember
2010	Workshop Penyusunan Subject Specific Pedagogy (SSP) Program Profesi Guru Fisika	FKIP Universitas Jember
2010	Workshop Penyusunan Pedoman Program Profesi Guru Fisika	FKIP Universitas Jember
2010	International Workshop The Development Curriculum of International Standard School Teacher Education in Mathematics and Science	Teacher Training and Education Faculty, Universitas of Jember
2010	Workshop Pengembangan Authentic Assessment Program Pendidikan Guru MIPA Bertaraf Internasional	FKIP Universitas Jember
2010	Workshop Penyusunan Bahan Ajar Berbasis ICT Program Pendidikan Guru MIPA Bertaraf Internasional	FKIP Universitas Jember
2010	Workshop Pengembangan Kurikulum Program Pendidikan Guru MIPA Bertaraf Internasional	FKIP Universitas Jember
2010	Workshop Sinkronisasi Kurikulum Program Pendidikan Guru MIPA Bertaraf Internasional	FKIP Universitas Jember
2010	Workshop Pengembangan Micro Teaching, PDS, dan PPL Program Pendidikan Guru MIPA Bertaraf Internasional	FKIP Universitas Jember
2010	Workshop Penyusunan Panduan dan Rencana Operasional tahun 2010 FKIP Universitas Jember	FKIP Universitas Jember
2009	Workshop Penulisan Karya Ilmiah untuk Publikasi Jurnal Nasional dan Internasional Bagi Calon Penulis Potensial	FKIP Universitas Jember
2009	Workshop Pengembangan Bahan Ajar PPG	FKIP Universitas Jember
2009	Workshop Pengembangan Kurikulum Pendidikan Profesi Guru	FKIP Universitas Jember
2009	Seminar Nasional Pengurangan Risiko Bencana dalam Perencanaan Pembangunan Daerah	BNPB dan Universitas Jember
2008	Seminar Nasional Cara Belajar Fisika Masa Depan	FKIP Universitas Jember

2008	Seminar Meningkatkan Kualitas Paedagogie, Content, Knowledge Melalui Pemahaman Kurikulum Dasar Serta Pelaksanaannya	P Fisika FKIP Universitas Jember
2007	Seminar Penjaringan Materi Kurikuler Matematika S1 PGSD	FKIP Universitas Jember
2007	Seminar Nasional Pendidikan Fisika, Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan	P Fisika FKIP Universitas Jember
2007	Seminar dan Lokakarya Penyusunan RKBM Berbasis KTSP	P Fisika FKIP Universitas Jember
2007	Sosialisasi PEPPG dan Workshop SMM	FKIP Universitas Jember
2007	Pekan Ilmiah Fisika	FKIP Universitas Jember
2006	Seminar Hasil Penelitian PUSLIT Lingkungan Hidup	Lembaga Penelitian Universitas Jember
2006	Workshop Teknologi Tepat Guna	LPM Universitas Jember
2006	Workshop Program Kerja UUP-3 dan GPM FKIP UNEJ	FKIP Universitas Jember
2005	Workshop Pembuatan dan Pengandaan Desain CD Tutorial Berprograma	FKIP Universitas Jember
2005	Workshop Pengembangan Penilaian <i>Authentic Assesment</i>	FKIP Universitas Jember
2005	Lokakarya Peningkatan Kualitas Pembelajaran (KPK) Pola 21 Jam	Dikti
2005	Workshop Metodologi Pembelajaran Pendidikan MIPA	FKIP Universitas Jember
2005	Sosialisasi Modul Aplikasi DBMS	FKIP Universitas Jember
2005	Geoforum Surabaya "Potensi Gempa-Tsunami Indonesia"	ITS Surabaya
2004	<i>Summer Seismic Class</i>	ITS Surabaya
2002	Seminar Nasional Difraksi Sinar X	ITS Surabaya
2002	Seminar Manajemen Peningkatan Mutu Berbasis Sekolah Terpadu ( <i>Integrated Nasional Seminar for MPMBS</i> )	FKIP Universitas Jember

Tahun	Kegiatan
2017	Pelatihan Penyusunan Alat Penilaian Berbasis High Order Thinking Skills (Hots) Bagi Guru MAN 2 Jember
2016	Pelatihan Keterampilan Dasar Mengajar Bagi Guru SMPIT Al Ghozali Jember
2014	Pemateri Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa

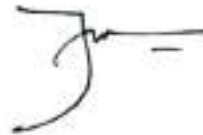
2014	Pelatihan Metode-metode Eksplorasi Geofisika
2012	Pembinaan Olimpiade Kebumihan Untuk Siswa SMAN RSHI/SHI Wilayah Besuki
2012	Penyuluhan Pembelajaran bagi Guru PAUD
2011	Pembinaan Olimpiade Sains Untuk Siswa SMPN 1 Cluring Banyuwangi
2011	Juri Olimpiade Fisika SMP/Sederajat se-Jawa Timur
2011	Pembina Kegiatan Purktik Kerja Lapangan (PKL)
2011	Pemateri dalam Kegiatan Pembinaan dan Pengembangan Mahasiswa Baru HIMAFI Neutron
2010	Pemateri dalam Kegiatan Workshop Penyusunan Panduan Praktik Pengalaman Lapangan (PPL) Program Profesi Guru Fisika
2010	Pelatihan Penelitian Dan Penulisan Karya Ilmiah Inovatif dan Kreatif Bagi Anggota Kelompok Ilmiah Remaja (KIR) SMA Negeri Arjasa Jember
2010	Pembinaan Olimpiade Kebumihan Untuk Siswa SMAN Giri Banyuwangi
2009	Pemberdayaan Dasa Wisma (DAMA) Melalui Pembuatan Pupuk Organik Padat dari Sampah Rumah Tangga
2009	Tim Pemantau Independen Ujian Nasional Tingkat SMP
2008	Nara sumber TOT Pembina Kelompok Ilmiah Remaja (KIR) dan Penelitian Ilmiah Remaja (PIR)
2008	Memberi Pelatihan Kepada Guru dengan Judul Pelatihan Pemanfaatan Laboratorium Virtual Berbasis Komputer Dalam Pembelajaran Fisika Untuk Guru Fisika SMA Di Kabupaten Jember
2008	Tim Pemantau Independen Ujian Nasional Tingkat SMA
2007	Memberi Pelatihan Komputer Kepada Guru Dengan Judul "Pelatihan Pengembangan Media Pembelajaran Berbantuan Komputer Bagi Dewan Guru SMA Negeri 1 Bondowoso"
2006	Memberi pelatihan kepada siswa SMP Nuris Jember dengan judul "Pelatihan Penggunaan Peralatan Laboratorium Fisika Bagi Siswa SMP"
2006	Memberi pelatihan komputer kepada guru matematika, fisika, dan kimia se Kabupaten Jember dengan judul "Pelatihan Komputer Program Teknik Animasi Mafia (Matematika, Fisika dan Kimia)"
2006	Memberi pelatihan dan penyuluhan kepada siswa dan guru SMPN 2 Tamanan Bondowoso dengan judul "Peningkatan Kualitas Pembelajaran Melalui Pemanfaatan Media Berbantuan Komputer di SMP Negeri 2 Tamanan Bondowoso"
2005	Memberi pelatihan kepada anggota baru KIR SMAN 1 Jember dengan judul "Pelatihan Penelitian Tentang Pemanfaatan Tenaga Surya Dan Sifat Kelistrikan Tanah"



Saya menyatakan bahwa semua keterangan dalam Curriculum Vitae ini adalah benar dan apabila terdapat kesalahan, saya bersedia mempertanggungjawabkannya.

Jember, Desember 2017

Dosen Ybs



Dr. Supeno, S.Pd, M.Si

NIP.197412071999031002

Lampiran 5. Surat pernyataan ketua peneliti dan tim peneliti (Lampiran F).



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**LEMBAGA PENELITIAN**

Alamat : Jl. Kalimantan No. 37 Jember 68121 Telp. (0331) 337818, 339385 Fax. (0331) 337818  
e-Mail : penelitian.leliti@unej.ac.id

**SURAT PERNYATAAN**

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si  
NIP / NIDN : 196912251999031001 / 0025126901  
Pangkat / Golongan : Penata / IIIc  
Jabatan Fungsional : Lektor  
Alamat : Perumahan Pesona Regency AF-14 Jember

dengan ini menyatakan bahwa proposal penelitian saya dengan judul : **Investigasi Metode Penghambatan Kerusakan Baja dan Inhibitor Korosi serta Pemodelan Keramik/Baja Paduan yang Cocok untuk Aplikasi dalam Reaktor Cepat Massa Depan Berpendingin Timbal-Bismuth Cair** yang diusulkan dalam skim penelitian Hibah Fundamental Tahun Anggaran 2017 bersifat **original dan belum pernah dibiayai oleh lembaga/sumber dana lain.**

Bilamana di kemudian hari diketemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai ketentuan yang berlaku dan mengembalikan seluruh biaya penelitian yang sudah diterima ke kas negara.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Jember, 27 Mei 2016

Mengetahui  
Ketua Lembaga Penelitian,  
  
Prof. Dr. Achmad Subagio, M.Agr., Ph.D.  
NIP. 196905171992011001

Yang Menyatakan,  
  
  
Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si  
NIP 196912251999031001

