

**PENGARUH *PACKING FRACTION* DAN HOMOGENISASI GEOMETRI  
BAHAN BAKAR DAN MODERATOR PADA  
FAKTOR MULTIPLIKASI EFEKTIF *HIGH TEMPERATURE REACTOR*  
(HTR) 10 MW**



**AULIA LITSA ARIFFIYAH**

**M0213014**

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk memenuhi sebagian  
persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Sains**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
September, 2017**


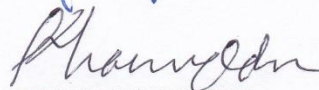


## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul : Pengaruh *Packing Fraction* dan Homogenisasi Geometri Bahan Bakar dan Moderator pada Faktor Multiplikasi Efektif *High Temperature Reactor* (HTR) 10 MW

Yang ditulis oleh :  
Nama : Aulia Litsa Ariffiyah  
NIM : M0213014

Telah diuji dan dinyatakan lulus oleh dewan penguji pada :  
Hari : Rabu  
Tanggal : 2 Agustus 2017

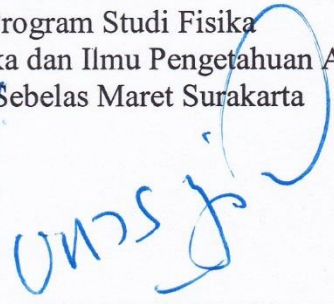
Dewan Penguji :  
1. Ketua Penguji  
Dra. Riyatun, M. Si.  
NIP. 19680226 199402 2 001  
2. Sekretaris Penguji  
Khairuddin, S. Si., M. Phil., Ph.D  
NIP. 19701018 199702 1 001  
3. Anggota Penguji 1  
Drs, Suharyana, M. Sc.  
NIP. 19611217 198903 1 003  
4. Anggota Penguji 2  
Dr. Azizul Khakim, S.T., M. Eng.  
NIP. 1971 1224 1999121 001

  
.....  
  
.....  
  
.....  
  
.....

Disahkan pada tanggal 15-09-2017  
Oleh

Kepala Program Studi Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Sebelas Maret Surakarta



  
Dr. Fahru Nurosyid., S. Si., M. Si.  
NIP. 19721013 200003 1 002

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi intelektual skripsi saya yang berjudul “Pengaruh *Packing Fraction* dan Homogenisasi Geometri pada Faktor Multiplikasi Efektif *High Temperature Reactor* (HTR) 10 MW” adalah hasil kerja saya dan sepengetahuan saya hingga saat ini. Skripsi tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau materi yang telah diajukan untuk mendapatkan gelar Kersarjanaan di Universitas Sebelah Maret atau di Perguruan Tinggi lainya kecuali telah dituliskan di daftar pustaka. Skripsi ini dan segala bentuk bantuan dari semua pihak telah ditulis di bagian ucapan terima kasih. Isi Skripsi ini boleh dirujuk atau difotocopi secara bebas tanpa harus memberitahu penulis.

Surakarta, 31 Juli 2017

Aulia Litsa Ariffiyah

## **MOTTO**

Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan.

(Q.S Al Insyirah:6)

“Doa, Usaha, Ikhtiar, Tawakkal”

*“Ojo Mung Ngilmu, Sing Penting Ngibadah”*

(Abdul Kholik)

## **PERSEMBAHAN**

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, karya ini saya persembahkan kepada :

1. Bapak Abdul Kholik dan Ibu Manisah selaku kedua orangtua saya, atas doa, dukungan, dan kasih sayang kepada saya.
2. Kakak kakak penulis yang selalu memberi dukungan dan doa serta bersedia menjadi tempat berkeluh kesah.
3. Drs. Suharyana, M.Sc. sebagai pembimbing I saya yang telah memberikan bimbingan dan motivasi dari awal hingga terselesaikannya skripsi ini.
4. Dr. Azizul Khakim, M.T. dari BAPETEN yang telah bersedia membimbing, berbagi ilmu dan memberikan pengarahan.
5. Dra. Riyatun, M.Si. beserta tim riset Fisika Nuklir dan Radiasi yang telah berbagi ilmu, serta bimbingannya.
6. Kawan kawan EMF 13, terimakasih atas empat tahunnya.
7. Almamater UNS tercinta.

**Pengaruh *Packing Fraction* dan Homogenisasi Geometri Bahan Bakar dan Moderator pada Faktor Multiplikasi efektif *High Temperature Reactor* (HTR)-10 MW**

AULIA LITSA ARIFFIYAH  
Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Universitas Sebelas Maret

**ABSTRAK**

Telah dilakukan simulasi reaktor jenis HTR-10 menggunakan software MVP. Bahan bakar HTR-10 berupa  $\text{UO}_2$  berlapis TRISO dengan pengayaan 17%, moderator serta reflektor bermaterial grafit. Simulasi ini ditujukan untuk melihat kecenderungan perubahan faktor multiplikasi efektif ( $k_{\text{eff}}$ ) berdasarkan nilai *packing fraction* ( $pf$ ). Nilai  $pf$  divariasikan dari 0,81 sampai 0,99. Dari kedua model tersebut didapatkan  $k_{\text{eff}}$  pada model bahan bakar dan moderator berbentuk *pebble* acak bernilai lebih tinggi. Perbedaan nilai  $k_{\text{eff}}$  kedua model tersebut dihitung sebesar  $(9,236 \pm 0,016)$  sampai  $(11,16 \pm 0,015) \%$ . Seiring meningkatnya nilai *packing fraction*, perbedaan nilai  $k_{\text{eff}}$  kedua model juga semakin besar. Perbedaan tersebut cukup besar sehingga homogenisasi bahan bakar dan moderator pada teras HTR-10 untuk simulasi selanjutnya tidak direkomendasikan.

Kata kunci: *packing fraction*, homogen, *pebble* acak,  $k_{\text{eff}}$ .

# **Packing Fraction and Homogenous Core Region Effect due to Effective Multiplication Factor Number of High Temperature Reactor (HTR) 10 MW**

AULIA LITSA ARIFFIYAH

Physics Departement, Faculty of Mathematics and Natural Sciences,  
Sebelas Maret University

## **ABSTRACT**

Simulation of HTR-10 has been performed using code MVP. HTR-10 fuel is  $\text{UO}_2$  which is layered by TRISO and it is placed in a pebble. Enrichment of HTR-10's fuel is 17 %, and materials of moderator and reflector are graphite. Variation of this simulation is configuration of fuels in core which made homogenous and randomness pebble. This simulation is purposed to see the trend of difference  $k_{\text{eff}}$  value for both models. Packing fraction number has been variated from 0,81 untill 0,99. HTR-10 with randomness pebbles in the core has a higher  $k_{\text{eff}}$  value. The difference  $k_{\text{eff}}$  of both model is about  $(9,236 \pm 0,016)$  till  $(11,16 \pm 0,015)$  %. This difference  $k_{\text{eff}}$  increase due to increasing packing fraction number.

Keywords: packing fraction, homogenous, randomness pebble,  $k_{\text{eff}}$ .

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan nikmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Skripsi yang penulis susun sebagai bagian dari syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains ini penulis beri judul “Pengaruh *packing fraction* dan homogenisasi geometri bahan bakar dan moderator pada faktor multiplikasi efektif *High Temperatur Reactor* (HTR) 10MW”. Dengan segala suka duka yang dialami, pada akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Drs. Suharyana M.Sc selaku pembimbing I yang senantiasa membimbing dan motivasi hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Dr. Azizul Khakim, M.T, selaku pembimbing II yang senantiasa membimbing dan mengarahkan hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
3. Segenap Dosen & Staf Jurusan Fisika yang telah banyak membantu dan memberikan bimbingan selama perkuliahan.
4. Kedua orang tua dan keluarga besar, atas doa, dukungan, dan segala bantuannya sejak penulis menjadi mahasiswa hingga akhirnya bisa menyelesaikan skripsi ini.
5. Teman-teman grup riset Fisika Nuklir dan Radiasi yang senantiasa bertukar ilmu.

Semoga Tuhan membalas jerih payah dan pengorbanan yang telah diberikan dengan balasan yang lebih baik. Penulis menyadari akan banyaknya kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Namun demikian, penulis berharap semoga karya kecil ini bermanfaat.

Surakarta, 28 Juli 2017

Aulia Litsa Ariffiyah



## HALAMAN PUBLIKASI

Sebagian skripsi saya yang berjudul “Pengaruh *packing fraction* dan homogenisasi geometri bahan bakar dan moderator pada faktor multiplikasi efektif *High Temperature Reactor* (HTR) 10 MW” telah di submit pada repository Perpustakaan Universitas Sebelas Maret pada 6 Juli 2017.

## DAFTAR ISI

|   | Halaman |
|---|---------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....  | i       |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....  | ii      |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....   | iii     |
| <b>HALAMAN MOTTO</b> .....  | iv      |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....  | v       |
| <b>HALAMAN ABSTRAK</b> .....  | vi      |
| <b>HALAMAN ABSTRACT</b> .....   | vii     |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....   | viii    |
| <b>HALAMAN PUBLIKASI</b> .....  | ix      |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....   | x       |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....   | xii     |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....  | xiii    |
| <b>DAFTAR SIMBOL</b> .....  | xiv     |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....  | 1       |
| 1.1. Latar Belakang .....   | 1       |
| 1.2. Batasan Masalah .....  | 4       |
| 1.3. Rumusan Masalah .....  | 4       |
| 1.4. Tujuan Penelitian .....  | 5       |
| 1.5. Manfaat penelitian .....   | 5       |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                                      | 6       |
| 2.1. BAPETEN .....  | 6       |
| 2.2. Interaksi Neutron dengan Materi .....                                | 7       |
| 2.3. Reaksi Fisi Berantai .....   | 8       |
| 2.4. Siklus Hidup Neutron .....   | 12      |
| 2.5. Reaktivitas .....  | 14      |
| 2.6. Reaktor .....  | 15      |
| 2.7. HTR-10 .....   | 17      |
| 2.7.1. Bahan Bakar .....  | 18      |
| 2.7.2. Teras Reaktor .....  | 21      |
| 2.7.3. Batang Kendali, Reflektor, Moderator dan Pendingin<br>HTR-10 ..... | 21      |
| 2.8. MVP .....  | 22      |
| 2.9. <i>Benchmarking</i> Model HTR-10 .....                               | 24      |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....                                    | 25      |
| 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....                                    | 25      |
| 3.2. Alat dan Bahan .....   | 25      |
| 3.3. Prosedur Penelitian .....  | 25      |
| 3.3.1. Peningstallan MVP .....  | 27      |

|   |    |
|---|----|
| 3.3.2. Desain Model Reaktor .....   | 27 |
| 3.3.3. <i>Benchmarking</i> Model HTR-10 .....                             | 28 |
| 3.3.4. Variasi Geometri Bahan Bakar .....                                 | 28 |
| 3.3.5. Perhitungan Volume Teras Homogen dan <i>packing Fraction</i> ..... | 29 |
| 3.3.6. <i>Running Program</i> .....                                       | 29 |
| 3.4. Teknik Analisis Data .....   | 29 |
| <b>BAB IV PEMBAHASAN</b> .....  | 30 |
| 4.1. Desain Model HTR-10 .....  | 30 |
| 4.2. <i>Benchmarking</i> Model HTR-10 .....                               | 31 |
| 4.3. Variasi Geometri Bahan Bakar .....                                   | 32 |
| 4.4. Perbedaan $k_{eff}$ .....  | 36 |
| 4.5. Reaktivitas Reaktor .....  | 38 |
| <b>BAB V PENUTUP</b> .....  | 40 |
| 5.1. Kesimpulan .....   | 40 |
| 5.2. Saran .....  | 40 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....   | 42 |
| <b>LAMPIRAN</b> .....   | 45 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2.1. Parameter Desain Bahan Bakar HTR-10 .....  | 20 |
| Tabel 2.2. Perhitungan Densitas Atom pada Teras HTR-10 .....  | 20 |
| Tabel 4.1. Perbandingan $k_{\text{eff}}$ Hasil Simulasi .....   | 31 |
| Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Beda $k_{\text{eff}}$ Hasil Simulasi HTR-10 dengan Teras Homogen dan Teras Berisi <i>Pebble</i> Acak ..... | 36 |
| Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Reaktivitas .....  | 38 |
| Tabel L.1. Perhitungan Densitas Tiap Bagian TRISO .....   | 45 |
| Tabel L.2. Perhitungan Fraksi Mol Bahan Bakar .....   | 45 |
| Tabel L.3. Perhitungan masing-masing Massa Unsur Bahan Bakar .....  | 46 |
| Tabel L.4. Perhitungan Volume Teras Berbahan Bakar Homogen .....  | 46 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.1. Reaksi Fisi .....   | 9  |
| Gambar 2.2. Reaksi Fisi Berantai .....  | 9  |
| Gambar 2.3. Tampang Lintang Fisi $^{235}\text{U}$ .....   | 11 |
| Gambar 2.4. Tampang Lintang Fisi $^{238}\text{U}$ .....   | 11 |
| Gambar 2.5. Siklus Hidup Neutron dalam Sistem Teras Reaktor .....   | 12 |
| Gambar 2.6. Perkembangan Reaktor Nuklir .....   | 17 |
| Gambar 2.7. Tampang Lintang HTR-10 dan Sistem Generator Uap .....   | 18 |
| Gambar 2.8. Struktur <i>Pebble</i> Bahan Bakar dan <i>Microsphere</i> .....                                   | 19 |
| Gambar 3.1. Skema Penelitian .....  | 26 |
| Gambar 3.2. Rancangan Model HTR-10 .....  | 27 |
| Gambar 4.1. Kenampakan Model HTR-10 (a) Sumbu XY<br>(b) Sumbu XZ.....   | 30 |
| Gambar 4.2. Model HTR-10 dengan Homogenisasi Bahan Bakar .....  | 32 |
| Gambar 4.3. Model HTR-10 dengan <i>Pebble</i> Bahan Bakar dan Moderator<br>Acak .....                         | 33 |
| Gambar 4.4. Grafik Hubungan <i>Packing Fraction</i> Terhadap Nilai $k_{\text{eff}}$ ....                      | 34 |
| Gambar 4.5. Grafik Hasil Perhitungan Perubahan Reaktivitas Berdasarkan<br>Nilai <i>Packing Fraction</i> ..... | 39 |
| Gambar L.1. <i>Script</i> Pembuatan <i>Control Data</i> .....   | 47 |
| Gambar L.2. <i>Script</i> Pembuatan <i>Cross Section</i> .....  | 49 |
| Gambar L.3. <i>Script</i> Pembuatan Geometri .....  | 52 |
| Gambar L.4. <i>Script</i> Pembuatan <i>Tally Region</i> .....   | 53 |
| Gambar L.5. <i>Script</i> Pendefinisian Sumber .....  | 53 |
| Gambar L.6. <i>Script</i> Input CGVIEW .....  | 54 |
| Gambar L.7. Tampilan <i>Running</i> dengan <i>Total Comander</i> .....  | 54 |
| Gambar L.8. Format Output $k_{\text{eff}}$ .....  | 55 |

## DAFTAR SIMBOL

| Simbol          | Keterangan                                     |
|-----------------|--|
| $\sigma_t$      | Tampang lintang mikroskopik total              |
| $\sigma_a$      | Tampang lintang mikroskopik serapan            |
| $\sigma_s$      | Tampang lintang mikroskopik hamburan           |
| $\sigma_e$      | Tampang lintang mikroskopik hamburan elastik   |
| $\sigma_i$      | Tampang lintang mikroskopik hamburan inelastik |
| $\sigma_\gamma$ | Tampang lintang mikroskopik tangkapan radiatif |
| $\sigma_f$      | Tampang lintang mikroskopik fisi               |
| $\Sigma$        | Tampang lintang makroskopik                    |
| $\varepsilon$   | Faktor fisi cepat                              |
| $P$             | Probabilitas lolos resonansi                   |
| $P_{FNL}$       | Probabilitas neutron cepat tidak bocor         |
| $P_{TNL}$       | Probabilitas neutron termal tidak bocor        |
| $f$             | Faktor penggunaan neutron termal               |
| $\eta$          | Faktor reproduksi                              |
| $k_{eff}$       | Faktor multiplikasi efektif                    |
| $pf$            | <i>Packing fraction</i>                        |
| $V_t$           | Volume teras homogen                           |
| $\rho$          | Reaktivitas                                    |
| $\Delta\rho$    | Perubahan reaktivitas                          |
| $En$            | Faktor kalibrasi                               |