

Pengukuran Permittivitas Dielektrik Bahan Kain Non Wofen Menggunakan Kapasitansi Meter Arduino Uno dan Prinsip Kerja Kapasitor Plat Sejajar
Andrian Wijayono* dan Valentinus Galih Vidia Putra

Pengaruh Variasi Penambahan Abu Ampas Tebu dan Serat Ampas Tebu Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Mortar
Muhammad Nursani*, Pulung Karo Karo dan Yanti Yulianti

Sistem Instrumentasi *Data Logger* Parameter Elektrik Sel Galvani Secara Otomatis Berbasis Arduino dan Borland Delphi 7
Rima Mei Handayani*, Gurum Ahmad Pauzi dan Amir Supriyanto

Analisa Pengaruh Porositas Terhadap Nilai Kuat Tekan Batuan Andesit Dengan Menggunakan Model Regresi Hasselman dan Ryshkewit CH Berbasis Matlab
Titah Anggraieni P. K. *, Agung Dimas Prabowo D, Rayhan Farisi R dan Widya Utama

Interpretasi Anomali Data Gravitasi Daerah Panas Bumi "K51S" Berdasarkan Pemodelan 3D
Anis Hoerunisa* dan Sismanto

Perhitungan *Burn Up* pada Reaktor HCLWR Model Geometri Silinder 2 Dimensi Menggunakan Kode COREBN
Siska Wulandari*, Yanti Yulianti dan Agus Riyanto

Studi Properti Fisis dan Mekanis Bata Bakar Merah dengan Aditif Limbah *Vinyl* dan Abu Sekam Padi
Rifqi Ikhwanuddin* dan Okky Fajar Tri Maryana

Potensi Cahaya Laser sebagai Sensor Kadar Asam Lemak Jenuh pada Minyak Jelantah
Nike Dwi Grevika Drantantiyas*, Okky Fajar Tri Maryana, Idra Herlina dan Prio Santoso

Pengaruh Waktu Pengeringan Sampel Batubara Tarahan Terhadap Nilai Inherent Moisture dan Nilai Kalor Batubara
Wahyuning Ramadhanta Ardanti*, Dwi Asmi dan Dahlia

Pengembangan Alat Evaluasi Fisika Untuk Mengidentifikasi Miskonsepsi Siswa Kelas VIII SMP Negeri Oenino
Laurensia Missa*, Ruth. N. K Mellu dan Demeryati Langtang

Desain Inti Teras Reaktor (*Core*) Model Mesh Triangular Pada Reaktor CANDU Menggunakan Bahan Bakar Daur Ulang Thorium
Imam Prayogi*, Yanti Yulianti dan Roniyus Marjunus

Tinjauan Perubahan Stress Coulomb Ko-Seismik Pada Sekuens Gempa Palu M 7,5 28 September 2018
Elvira Mardhatillah*, Ade Anggraini dan Mochamad Nukman

Study of Mechanical Properties and Microstructure of Mercedes-Benz and Local Radiator Material
Usman Sudjadi*, Rahmad Jayadiningrat, Erwan Hermawan dan Agus Jamaludin



Jurnal Fisika Indonesia

e-ISSN: 2579-8820 | p-ISSN: 1410-2994

Menu

[Home](#) [About](#) [Login](#) [Register](#) [Search](#) [Current](#) [Archives](#) [Announcements](#) [Statistics](#) [Indexing](#) [Sitemap](#) [Contact](#)

[Home](#) > [About the Journal](#) > **Editorial Team**

Editorial Team

Editor in Chief

[Wiwit Suryanto](#), Department of Physics, Faculty of Mathematic and Natural Sciences, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Associate Editors

[Eniya Listiani Dewi](#), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Jakarta, Indonesia

[Jean-Philippe Metaxian](#), Institut des Sciences de la Terre (ISTerre), Chambéry, France

[Kuwat Triyana](#), Institute of Halal Industry and Systems (IHS), Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Layout/Editorial Assistants

[Budiarjo Budiarjo](#), Laboratorium Geofisika, Departemen Fisika, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

[Anang Sahroni](#), Geophysics Research Group, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

[Ibnu Jihad](#), Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Focus & Scope

[Author Guidelines](#)

[Online Submission](#)

[Statement of Originality](#)

[Publication Ethics](#)

[Screening For Plagiarism](#)

[Editorial Board](#)

[Peer Reviewers](#)

USER

Username

Password

Remember me

[Login](#)

TEMPLATE



[Download Article Template](#)

PLAGIARISM CHECKER

[Unicheck](#)

RECOMMENDED TOOLS

[Mendeley](#)

[Grammarly](#)

[EndNote](#)

[Overleaf](#)

JOURNAL CONTENT

Search

JFI Editorial Office

Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Gadjah Mada

Sekip Utara PO BOX BLS 21, 55281, Yogyakarta, Indonesia

Email: jfi.mipa@ugm.ac.id



JFI is indexed by:



Jurnal Fisika Indonesia, its website and the articles published are licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#). ©

Department of Physics, Universitas Gadjah Mada.

Social media icon made by [Freepik](#) from www.flaticon.com

[00899149 View My Stats](#)



Menu

[Home](#)
[About](#)
[Login](#)
[Register](#)
[Search](#)
[Current](#)
[Archives](#)
[Announcements](#)
[Statistics](#)
[Indexing](#)
[Sitemap](#)
[Contact](#)

[Home](#) > [About the Journal](#) > **People**

People

Peer Reviewer

[Yusril Yusuf](#), Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

[Jamhir Safani](#), Department of Physics UNHALU, Kendari, Sulawesi Tenggara

[Supriyanto Suparno](#), Department of Physics, Universitas Indonesia

[Budi Purnama](#), Department of Physics, Sebelas Maret University, Indonesia

[Bintoro Anang Subagyo](#), Departement of Physics, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya, Indonesia

[Mohammad Kholid Ridwan](#), Department Physical Engineering, Faculty of Engineering Universitas Gadjah Mada, Indonesia

[Edi Suharyadi](#), Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada, Indonesia

[Wahyudi Wahyudi](#), Geophysics Laboratory, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

[Iman Santoso](#), Departement of Physics, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

[Romy Hanang Setya Budhi](#), Department of Physics, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Focus & Scope

[Author Guidelines](#)

[Online Submission](#)

[Statement of Originality](#)

[Publication Ethics](#)

[Screening For Plagiarism](#)

[Editorial Board](#)

[Peer Reviewers](#)

USER

Username

Password

Remember me

[Login](#)

TEMPLATE



[Download Article Template](#)

PLAGIARISM CHECKER

[Unicheck](#)

RECOMMENDED TOOLS

[Mendeley](#)

[Grammarly](#)

[EndNote](#)

[Overleaf](#)

JOURNAL CONTENT

Search

JFI Editorial Office

Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Gadjah Mada

Sekip Utara PO BOX BLS 21, 55281, Yogyakarta, Indonesia

Email: jfi.mipa@ugm.ac.id



JFI is indexed by:



Jurnal Fisika Indonesia, its website and the articles published are licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#). ©

Department of Physics, Universitas Gadjah Mada.

Social media icon made by [Freepik](#) from www.flaticon.com

[00099150 View My Stats](#)

ARTIKEL RISET

Desain Inti Teras Reaktor (*Core*) Model Mesh Triangular Pada Reaktor CANDU Menggunakan Bahan Bakar Daur Ulang Thorium

Imam Prayogi^{*}, Yanti Yulianti and Roniyus Marjunus

Received: July 16, 2020 | Accepted: Aug. 05, 2020 | Published: Dec. 21, 2020 | DOI: 10.22146/jfi.v24i3.57883

Ringkasan

Telah dilakukan penelitian tentang desain inti teras reaktor (*core*) model mesh triangular pada reaktor CANDU menggunakan bahan bakar daur ulang thorium. Penelitian ini dilakukan dengan cara menentukan persentase bahan bakar yang memenuhi standar kekritisan, menentukan ukuran dan konfigurasi teras reaktor yang memenuhi standar kekritisan selanjutnya menentukan distribusi rapat daya pada reaktor CANDU. Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan persentase bahan bakar yang digunakan yaitu pada bagian 1 dari pengayaan 4% - 8% dengan rentang 0,5% dan pada bagian 2 pengayaan tetap yaitu 8%. Didapatkan persentase bahan bakar yang memenuhi standar kekritisan yaitu pada persentase pengayaan bagian 1 sebesar 5,5% dan pengayaan bagian 2 sebesar 8% yang menghasilkan $k_{eff} = 1,0000001$. Selanjutnya didapatkan juga ukuran dan konfigurasi teras reaktor yaitu pada (x) 22 pada titik (y) 553,67873 cm dan pada (y) 11 pada titik (x) 553,67873 cm dengan menghasilkan nilai rapat daya maksimum yaitu 228,6517 Watt/cm³. Kemudian pada penelitian ini juga menghasilkan nilai rapat daya rata-rata yang diperoleh pada (x) sebesar 148,3590 Watt/cm³ dengan memiliki faktor puncak daya sebesar 1,541206 dan rapat daya rata-rata yang diperoleh pada (y) sebesar 153,1496 Watt/cm³ dan memiliki faktor puncak daya sebesar 1,492996.

Kata Kunci : desain inti reaktor, rapat daya, CANDU, SRAC, daur ulang thorium.

Abstract

The research of design of the triangular mesh core reactor (*core*) in the CANDU reactor using thorium recycled fuel has been carried. This research was conducted by determining the percentage of fuel that satisfy the critical standards, determining the size and configuration of the reactor core that satisfy the critically standards and determining the distribution of power density at the CANDU reactor. Were fuel percentage in first enrichment of 4% - 8% with a range of 0,5% and second first is 8% . Obtained the percentage of fuel that satisfy the critical standard that is the percentage in enrichment of first of 5.5% and second first of 8% which results in $k_{eff} = 1,0000001$. Furthermore, the size and configuration of the reactor core were also obtained on the (x) 22 at point (y) 553,67873 cm and on the (y) 11 at point (x) 553,67873 cm by producing a maximum power density value of 228.6517 Watt/cm³. Then this study also produced an average power density on the (x) of 148,3590 Watt/cm³ with a peak power factor of 1,541206, an average power density (y) of 153,1496 Watt/cm³ and a peak power factor of 1,492996.

Keywords: reactor core design; power density; CANDU; SRAC; thorium recycling.

1 PENDAHULUAN

Energi merupakan suatu kebutuhan bagi setiap negara, terutama energi listrik. Di Indonesia, kebutuhan listrik itu sendiri setiap tahunnya bertambah. Pemakaian tenaga listrik di Indonesia saat ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan dalam

^{*}Correspondence: Imamprayogi444@gmail.com

Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

Full list of author information is available at the end of the article

[†]Equal contributor

berbagai aspek. Namun sampai tahun ini pemadaman listrik masih saja sering terjadi di Indonesia. Hal ini dikarenakan terbatasnya energi listrik yang dapat disuplai oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN), sehingga PLN tidak mampu memenuhi peningkatan kebutuhan listrik di Indonesia. Untuk mengatasi peningkatan kebutuhan listrik yang terjadi di Indonesia maka diperlukan sumber energi lain, salah satunya Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) [1]. Bahan bakar yang dapat digunakan pada reaktor nuklir ada 2 jenis bahan bakar yaitu bahan bakar fisil dan bahan bakar fertil [2]. Negara-negara pengguna PLTN saat ini mengembangkan bahan bakar Thorium untuk menggantikan bahan bakar Uranium yang selama ini digunakan karena menipisnya cadangan Uranium [3].

Pada prinsipnya PLTN menggunakan reaktor nuklir untuk menghasilkan energi listrik. Salah satu jenis reaktor nuklir yang digunakan pada PLTN yaitu *Canadian Deuterium Uranium* (CANDU). Pada reaktor CANDU, penggunaan bahan bakar thorium dapat menaikkan derajat pembakaran hingga dua kali level standar. Dengan cara memodifikasi sedikit pada susunan bahan bakar pada reaktor CANDU sehingga meningkatkan derajat pembakaran lebih lanjut hingga 70%. Selain itu, Thorium meningkatkan rasio konversi CANDU hingga 0,98 dari normalnya 0,8. Tingginya rasio konversin yang dihasilkan, tentunya kebutuhan bahan bakar baru dapat berkurang [4].

Pada penelitian ini dilakukan desain reaktor CANDU dengan menggunakan bahan bakar daur ulang thorium yang bersifat fertil. Meskipun bahan bakar daur ulang tidak bersifat fisil, namun tetap dapat digunakan sebagai bahan bakar reaktor nuklir karena pada thorium akan menyerap neutron lambat untuk menghasilkan uranium yang bersifat fisil [5]. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini sama dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Setyaningsih (2019) [6] yaitu pengayaan bahan bakar daur ulang, *burn up*, ukuran teras reaktor, konfigurasi teras reaktor, kekritisan dan distribusi rapat daya.

Pada penelitian ini bertujuan untuk Menentukan persentase bahan bakar yang memenuhi standar kekritisan, Menentukan ukuran dan konfigurasi teras reaktor yang memenuhi standar kekritisan dan Menentukan distribusi rapat daya pada reaktor CANDU.

2 METODE PENELITIAN

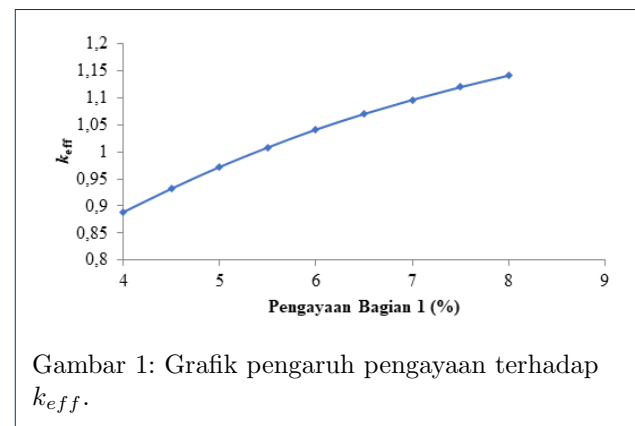
Pada penelitian ini hal pertama yang dilakukan yaitu menentukan fraksi volume. Menentukan fraksi volume bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara volume bahan bakar terhadap volume sel bahan bakar

yang terdiri atas bahan bakar, *cladding* dan pendingin [7].

Setelah menentukan fraksi volume, kemudian pada penelitian ini menentukan pengayaan. Penentuan pengayaan pada reaktor air berat (CANDU) dilakukan agar reaktor berada dalam keadaan kritis ($k_{eff} = 1$). Persentase pengayaan yang digunakan pada penelitian ini dilakukan dengan dua bagian yaitu 4% - 8% dan 8%.

Setelah itu menghitung densitas atom. Pada setiap reaktor terdapat komponen yaitu bahan bakar, *cladding* dan moderator yang akan dihitung densitas atomnya untuk digunakan sebagai *input* CITATION pada program SRAC.

Selanjutnya menentukan ukuran dan konfigurasi teras reaktor. Pada penelitian ini untuk menentukan ukuran dan konfigurasi teras reaktor digunakan model *mesh triangular*. Gambar 1 adalah contoh model dari inti reaktor CANDU dan contoh model mesh triangular.



Gambar 1: Grafik pengaruh pengayaan terhadap k_{eff} .

Kemudian melakukan perhitungan *burn-up* bahan bakar. Perhitungan *burn-up* dilakukan untuk perhitungan penyusutan dan produksi isotop sebagai fungsi waktu (Walter dan Reynolds, 1981). Pada penelitian ini periode *burn up* yang digunakan sebesar 20 GWd/t untuk pengayaan bagian pertama dan 30 GWd/t untuk pengayaan bagian kedua.

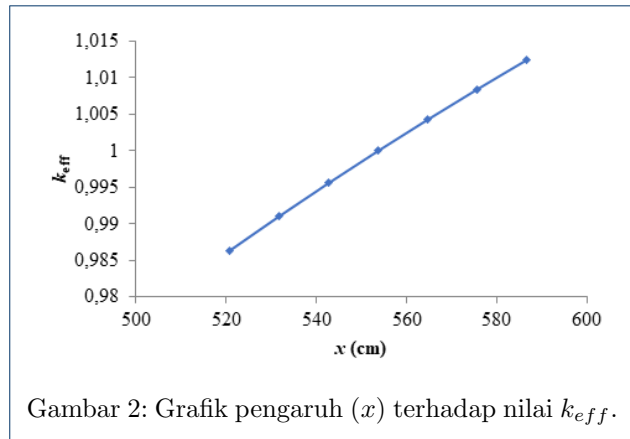
Selanjutnya Penghitungan dengan CITATION. Hasil dari penghitungan densitas atom akan menjadi *input* pada penghitungan menggunakan CITATION pada SRAC.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian yang telah dilakukan didapatkan pengaruh pada persentase pengayaan bagian pertama yaitu 4% - 8% dengan rentang 0,5%. Sedangkan pada persentase pengayaan bagian kedua yaitu tetap sebesar 8%. Hasil pengaruh pengayaan terhadap k_{eff} ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel

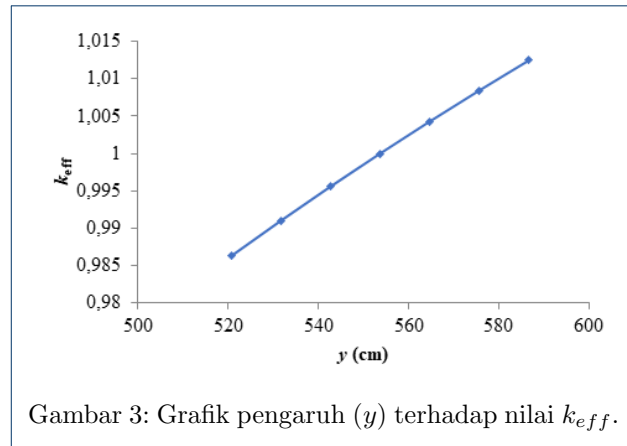
1, menunjukkan k_{eff} yang sudah melewati satu dan mendekati satu yaitu terletak pada persentase pengayaan bagian 1 sebesar 5,5% dan pengayaan bagian 2 sebesar 8% dengan nilai k_{eff} sebesar 1,0081327. Selanjutnya peningkatan nilai k_{eff} ditunjukkan pada Gambar 1.

Setelah itu untuk menghasilkan nilai k_{eff} yang sangat mendekati kekritisan dilakukan perubahan ukuran pada teras reaktor seperti yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya oleh Saputra (2019). Pada penelitian ini (x) yang sebelumnya 564,16250 cm akan diubah ukurannya menjadi 520,67873 – 586,67873 cm dengan perbedaan 11 cm, sedangkan ukuran (y) yang sebelumnya 564,16250 cm diubah menjadi ukuran 553,67873 cm dan bernilai tetap. Hal ini bertujuan untuk melihat pengaruh (x) terhadap nilai dari k_{eff} dengan menggunakan pengayaan bagian 1 sebesar 5,5%. Berdasarkan hasil yang didapatkan pada Tabel 2, ditunjukkan bahwa nilai k_{eff} yang mendekati satu terdapat pada (x) = 553,67873 cm dengan nilai k_{eff} sebesar 1,0000001. Pengaruh (x) terhadap nilai k_{eff} juga dapat dilihat pada Gambar 2. Begitu juga dengan perubahan yang dilakukan pada (y) seperti perubahan yang dilakukan pada (x) dan dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 3.



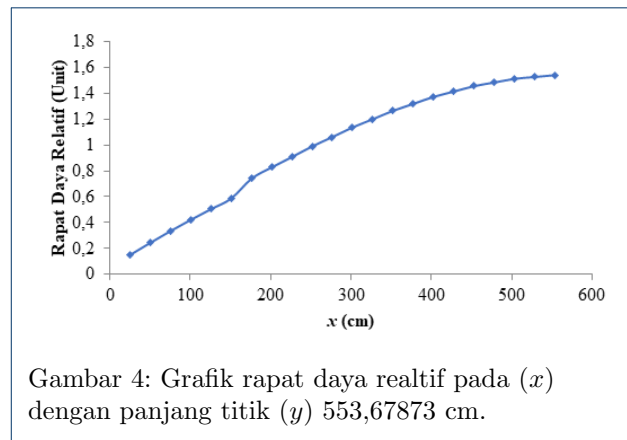
Gambar 2: Grafik pengaruh (x) terhadap nilai k_{eff} .

Selanjutnya pada penelitian ini, Berdasarkan hasil perhitungan pada CITATION diperoleh nilai dari rapat daya maksimum sebesar 228,6517 Watt/cm³ yang terdapat pada titik (x) = 22 dan titik (y) = 11. Rapat daya relatif yang dihasilkan pada (x) dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan hasil dari Gambar 4 rapat daya maksimum yang didapatkan terletak pada titik (x) = 22 dengan nilai faktor puncaknya 1,541206 dan dengan nilai rapat daya rata-rata yang dihasilkan yaitu 148,3590 Watt/cm³. Kemudian pada (y) dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan hasil yang dapat dilihat pada dan Gambar 5 rapat daya maksimum yang didapatkan terletak pada titik (y)

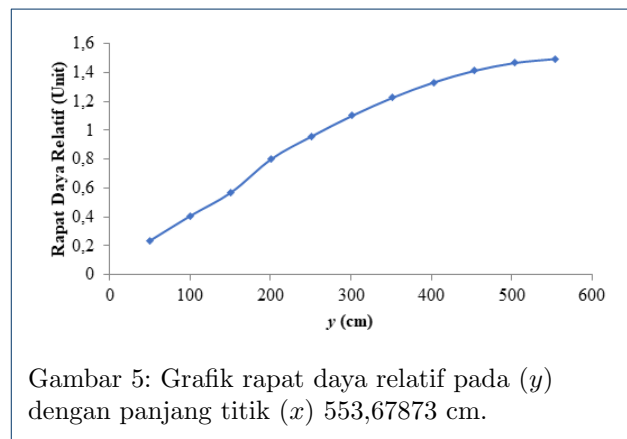


Gambar 3: Grafik pengaruh (y) terhadap nilai k_{eff} .

= 11 dengan nilai faktor puncaknya 1,492996 dan dengan nilai rapat daya rata-rata yang dihasilkan yaitu 153,1496 Watt/cm³. Berdasarkan aspek keselamatan yang ditentukan dengan faktor puncak daya yang dihasilkan tidak melebihi 2,0 [8].



Gambar 4: Grafik rapat daya relatif pada (x) dengan panjang titik (y) 553,67873 cm.



Gambar 5: Grafik rapat daya relatif pada (y) dengan panjang titik (x) 553,67873 cm.

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan desain teras reaktor CANDU yang memenuhi standar

Tabel 1: Pengaruh pengayaan terhadap k_{eff}

Bagian 1 (%)	Bagian 2 (%)	Sumbu x (cm)	Sumbu y (cm)	k_{eff}
4,0	8,0	564,16250	564,16250	0,8886585
4,5	8,0	564,16250	564,16250	0,9320385
5,0	8,0	564,16250	564,16250	0,9721327
5,5	8,0	564,16250	564,16250	1,0081327
6,0	8,0	564,16250	564,16250	1,0412028
6,5	8,0	564,16250	564,16250	1,0700978
7,0	8,0	564,16250	564,16250	1,0961226
7,5	8,0	564,16250	564,16250	1,1196678
8,0	8,0	564,16250	564,16250	1,1410326

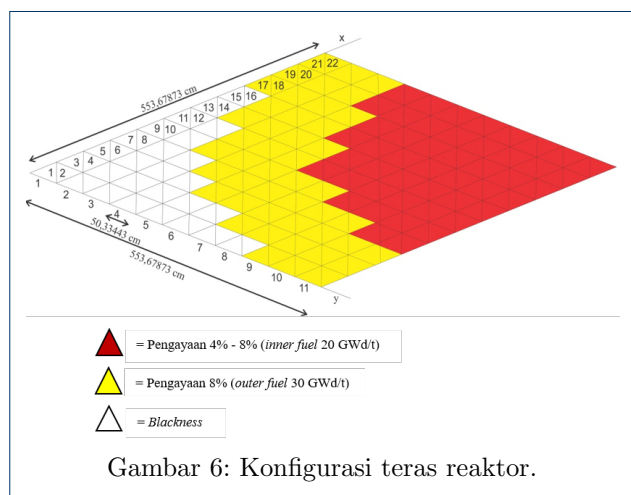
Tabel 2: Pengaruh ukuran (x) terhadap nilai k_{eff}

x (cm)	y (cm)	k_{eff}
520,67873	553,67873	0,9862860
531,67873	553,67873	0,9910067
542,67873	553,67873	0,9955755
553,67873	553,67873	1,0000001
564,67873	553,67873	1,0042872
575,67873	553,67873	1,0084431
586,67873	553,67873	1,0124735

Tabel 3: Pengaruh ukuran (y) terhadap nilai k_{eff}

x (cm)	y (cm)	k_{eff}
553,67873	520,67873	0,9862860
553,67873	531,67873	0,9910067
553,67873	542,67873	0,9955755
553,67873	553,67873	1,0000001
553,67873	564,67873	1,0042872
553,67873	575,67873	1,0084431
553,67873	586,67873	1,0124735

kekritisan sebuah reaktor dan memiliki distribusi rapat daya yang cukup baik. Desain teras reaktor CANDU dapat dilihat pada Gambar 6.



4 KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian ini adalah pada Desain teras reaktor CANDU yang memenuhi standar kekritisan berada pada ukuran (x) 553,67873 cm dan (y) 553,67873 cm dengan menggunakan pengayaan bagian 1 sebesar 5,5% dan pengayaan bagian 2 sebesar 8% yang menghasilkan nilai k_{eff} sebesar 1,0000001. Selanjutnya desain teras reaktor CANDU yang memenuhi kriteria keselamatan yang tinggi berada pada (x) 22 dengan panjang titik (y) 553,67873 cm dan (y) 11 dengan panjang titik (x) 553,67873 cm menghasilkan nilai rapat daya maksimum sebesar 228,6517 Watt/cm³. Kemudian apat daya rata-rata yang diperoleh pada (x) sebesar 148,3590 Watt/cm³ dengan memiliki faktor puncak daya sebesar 1,541206 dan rapat daya rata-rata yang diperoleh pada (y) sebesar 153,1496 Watt/cm³ dan memiliki faktor puncak daya sebesar 1,492996. Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu diharapkan penelitian selanjutnya dapat mendesain teras reaktor CANDU dengan menggunakan desain yang berbeda dengan ukuran yang berbeda untuk mendapatkan nilai keselamatan dan kekritisan yang lebih baik.

PENULIS

- Imam Prayogi
Dari :
(1) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung
- Yanti Yulianti
Dari :
(1) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung
- Roniyus Marjunus
Dari :
(1) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

Pustaka

1. Rijanti RAP, Lumbanraja SM. Dampak Kecelakaan Reaktor Fukushima terhadap Rencana Pembangunan PLTN di Indonesia. In: Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV; 2011. p. 290–300.
2. Soentono S. Bahan-Bahan untuk Industri Reaktor Nuklir. Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi III. 1998;p. 22–31.
3. Ngadenin N, Syaeful H, Widana KS, Sukadana IG, Indrastomo FD. Studi Potensi Thorium Pada Batuan Granit di Pulau Bangka. Jurnal Pengembangan Energi Nuklir. 2014;16(2):143–155.
4. Nuttin A, Guillemin P, Bidaud A, Capellan N, Chambon R, David S, et al. Comparative analysis of high conversion achievable in thorium-fueled slightly modified CANDU and PWR reactors. *Annals of Nuclear Energy*. 2012;40(1):171–189.
5. Kidd SW. Nuclear fuel resources. In: *Nuclear Engineering Handbook*. CRC Press; 2009. .
6. Setiyaningsih S, Yulianti Y, Sembiring S. Desain Inti Reaktor SCWR (Supercritical Water Reactor) Model Teras Silinder (r, z) dengan Bahan Bakar Thorium Hasil Daur Ulang. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 2019;7(2):215–222.
7. Duderstadt JJ, Hamilton LJ. *Nuclear Reactor Analysis*. New York: JohnWiley & Sons Inc.; 1976.
8. Soewono CN, Alexander A, Sihana. Implementasi Metode Multi Objectif Simulated Annealing dalam Optimasi Susunan Bahan Bakar Teras Reaktor PWR Menggunakan Code COREBN. In: Prosiding Seminar Nasional ke-15 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir; 2009. p. 120–121.