

ARTIKEL RISET

Perhitungan *Burn Up* pada Reaktor HCLWR Model Geometri Silinder 2 Dimensi Menggunakan Kode COREBN

Siska Wulandari*, Yanti Yulianti and Agus Riyanto

Received: June 22, 2020 | Accepted: Aug. 05, 2020 | Published: Dec. 21, 2020 | DOI: 10.22146/jfi.v24i3.57166

Ringkasan

Penelitian tentang perhitungan *burn up* pada reaktor HCLWR model geometri silinder 2 dimensi menggunakan kode COREBN telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan nilai rasio konversi lebih besar atau sama dengan 1 dan mempunyai nilai k_{eff} yang aman. Alat dan bahan yang digunakan yaitu seperangkat komputer dengan *Operating System Linux Mint 18.1* dan SRAC-COREBN. Hal-hal yang dilakukan pada penelitian untuk memperoleh nilai rasio konversi dan k_{eff} yang diinginkan dengan cara memvariasikan persentase pengayaan, periode *burn up*, daya linear, dan mengubah fraksi volume material. Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, maka diperoleh nilai rasio konversi dan k_{eff} masing-masing sebesar 1,002300 dan 0,9011962. Desain reaktor yang menghasilkan nilai rasio konversi 1 dan k_{eff} kritis ketika persentase bahan bakar 42%, kelongsong 8%, dan moderator 50%; persentase di ketiga daerah bahan bakar masing-masing 2,5%; periode operasi reaktor 548 hari; daya reaktor 2600 MW; dan daya linear 1,943199 MW/cm.

Kata Kunci : *burn up*, COREBN, rasio konversi, k_{eff} .

Abstract

The research on the calculation of burn up in the HCLWR reactor with 2-dimensional cylinder geometry models using COREBN code has been carried out. This research aims to produce a conversion ratio greater than or equal to 1 and has a critical multiplication factor. The tools and materials were a set of computers with Linux Mint 18.1 Operating System and SRAC-COREBN. To get critical multiplication factor and conversion ratio more than 1,00 were varied the percentage of enrichment, increasing the burn up period, varied the linear power, and changing the volume fraction of the material. Based on the result of research and analysis that has been done, the conversion ratio and multiplication factor are obtained respectively 1,002300 and 0,9011962. Reactor design that produces a conversion ratio more than 1,00 and a critical multiplication factor when the percentage of fuel is 42%, cladding 8%, and moderator 50%; the percentages in the three fuel areas are 2,5% each; the reactor operating period is 548 days; the reactor power is 2600 MW; and the linear power is 1,943199 MW/cm.

Keywords: burn up; COREBN; conversion ratio; k_{eff} .

1 PENDAHULUAN

PLTN mulai dikembangkan secara komersial sejak tahun 1954. PLTN digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik yang relatif murah, aman, dan tidak mencemari lingkungan. PLTN mulai dikembangkan oleh beberapa negara seperti Uni Sovyet, Amerika

Serikat, dan Inggris. Uni Soviet mengoperasikan satu unit PLTN air ringan bertekanan tinggi yang setahun kemudian mencapai daya 5 MWe. Amerika Serikat juga mengoperasikan jenis reaktor yang sama dengan daya 60 MWe. Tahun 1956, Inggris mengembangkan jenis reaktor berpendingin gas dengan daya 100 MWe. PLTN menggunakan satu atau beberapa reaktor nuklir sebagai sumber panasnya yang dimanfaatkan untuk pembangkit daya termal [1].

Reaktor nuklir adalah tempat berlangsungnya reaksi nuklir [2]. Reaktor nuklir dalam perkembangannya

*Correspondence: yanti.yulianti@fmipa.unila.ac.id

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

mengalami empat fase regenerasi yaitu generasi I, II, III, dan IV. HCLWR merupakan salah satu jenis reaktor hasil pengembangan dari reaktor generasi I yaitu LWR. HCLWR mulai dikembangkan oleh JAERI (*Japan Atomic Energy Research Institute*) pada tahun 1985 dengan desain konseptual. HCLWR didesain dengan tujuan untuk mencapai rasio konversi yang tinggi, jaminan keselamatan (setara atau lebih tinggi dari tingkat keselamatan LWR), dan memiliki nilai ekonomi yang tinggi [3]. HCLWR dengan kisi *pitch* yang lebih padat memiliki kelebihan dua fitur desain dibandingkan dengan LWR konvensional yaitu mengurangi rasio volume air terhadap bahan bakar dan pengayaan fisil plutonium yang lebih tinggi [4]. HCLWR menggunakan pendingin berupa air ringan (H_2O). HCLWR memiliki beberapa komponen penting, salah satunya yaitu teras (inti) reaktor.

Teras (inti) reaktor merupakan salah satu bagian yang penting dari reaktor nuklir [5]. Desain inti reaktor menjadi tahap awal dan salah satu bagian penting dalam merancang reaktor nuklir agar menghasilkan sistem PLTN yang aman, efektif, dan ekonomis pada waktu operasi. Selain itu, proses perancangan desain inti reaktor memerlukan analisis detail, lengkap, dan berkelanjutan [6]. Analisis yang dapat dilakukan dalam mendesain inti reaktor yaitu analisis perhitungan *burn up* inti reaktor.

Analisis perhitungan *burn up* inti reaktor perlu dilakukan untuk mengetahui pembakaran bahan bakar yang ada di inti reaktor melalui nilai rasio konversi seketika (*instantaneous conversion ratio*). Rasio konversi seketika didefinisikan sebagai rasio antara laju pembentukan isotop fisil baru dengan laju destruksi isotop fisil. Jika laju ini bernilai lebih dari satu, maka nilai rasionya disebut dengan rasio pembiakan (*breeding ratio*) [7]. Nilai rasio konversi lebih dari 1 menunjukkan bahwa bahan bakar yang dikonsumsi lebih sedikit daripada bahan bakar yang diproduksi.

2 METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat komputer dengan *Operating System Linux Mint 18.1* dan SRAC-COREBN. Langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut.

2.1 Menentukan Pengayaan

Perangkat bahan bakar terdiri dari tiga komposisi yaitu daerah bahan bakar pertama, daerah bahan bakar kedua, dan daerah bahan bakar ketiga. Masing-masing daerah akan dilakukan pengayaan sebesar 1,5%-3,5% dengan interval 1%.

2.2 Menghitung Densitas Atom

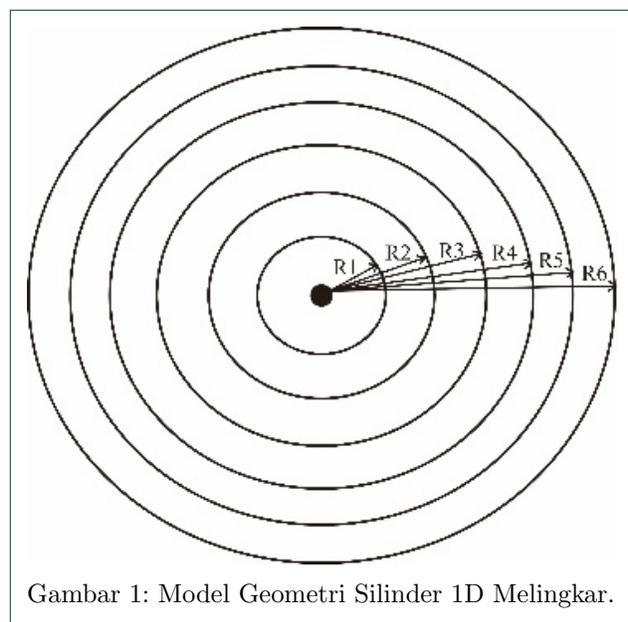
Setiap komponen pada reaktor seperti bahan bakar (*fuel*), kelongsong (*cladding*), dan pendingin (*moderator*) dihitung densitas atomnya untuk digunakan sebagai input pada PIJ. PIJ adalah salah satu kode pada SRAC yang digunakan untuk melakukan perhitungan neutronik tingkat sel dengan metode probabilitas tumbukan. Perhitungan pada PIJ digunakan untuk menghomogenisasi energi neutron. Rumus untuk menghitung densitas atom ditunjukkan pada persamaan 1.

$$N = \frac{\rho N_A}{M} \quad (1)$$

dengan, N = densitas atom (atom/cm³), ρ = massa jenis (g/cm³), N_A = bilangan Avogadro (0,6022 × 10²⁴ atom/mol), dan M = massa molekul (g/mol)

2.3 Melakukan Perhitungan pada PIJ

Perhitungan pada PIJ dilakukan untuk menentukan geometri tingkat sel. Geometri sel yang akan digunakan berbentuk silinder satu dimensi melingkar. $R1$, $R2$, $R3$ merupakan bahan bakar, $R4$ merupakan kelongsong, dan $R5$, $R6$ merupakan pendingin. Hasil dari perhitungan tingkat sel akan disimpan dalam *file* MACRO, *file* ini akan digunakan sebagai *input* pada HIST untuk meregistrasi material yang digunakan pada COREBN. Bentuk geometri selnya ditunjukkan seperti pada Gambar 1.



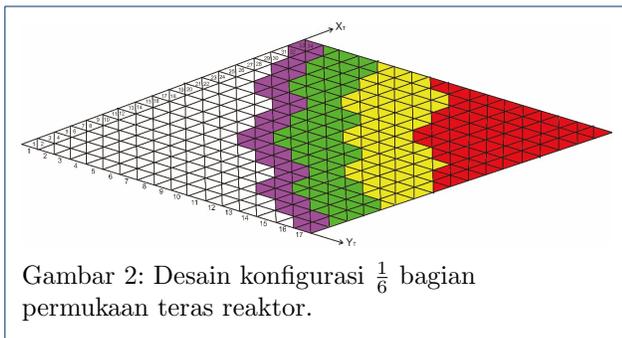
Gambar 1: Model Geometri Silinder 1D Melingkar.

2.4 Memasukkan Data pada HIST

HIST adalah *history file*. Pekerjaan yang dilakukan oleh HIST seperti menentukan geometri teras dan registrasi material, menentukan jenis elemen bahan bakar, menentukan jenis elemen non bahan bakar, dan melakukan pemuatan elemen bahan bakar.

2.5 Melakukan Perhitungan pada COREBN

COREBN adalah kode tambahan pada SRAC yang digunakan untuk menghitung *burn up* pada tingkat teras (inti). *Input* pada COREBN berhubungan dengan kondisi operasi seperti daya termal, periode operasi, pola pemuatan elemen bahan bakar, dan pola pemuatan elemen kendali [8]. Geometri teras reaktor yang akan digunakan berbentuk silinder 2 dimensi dengan perhitungan $\frac{1}{6}$ bagian teras reaktor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Variasi Pengayaan Bahan Bakar

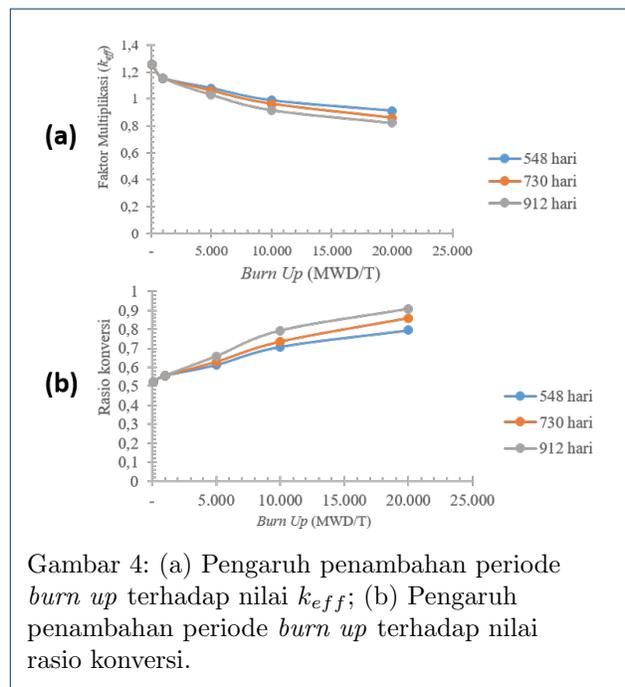
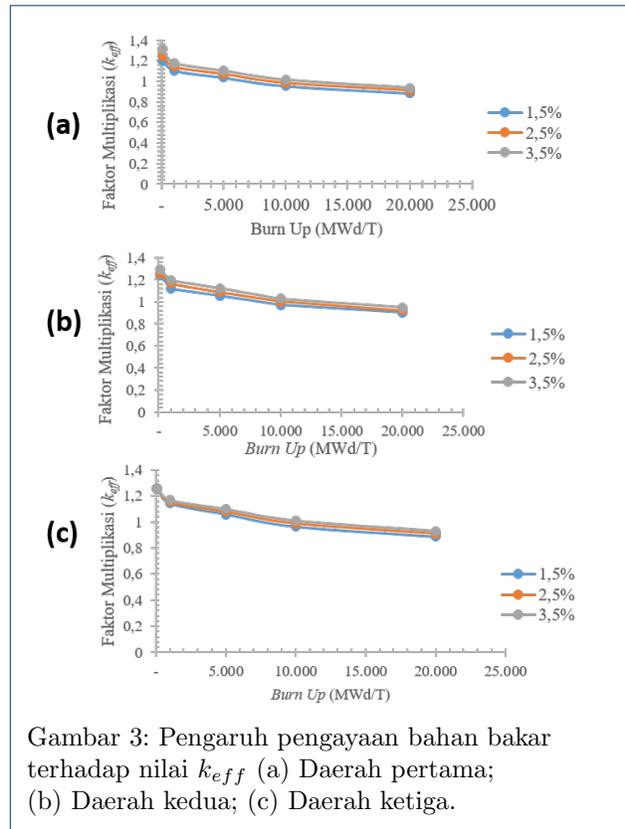
Pengayaan dilakukan untuk memperkaya jumlah persentase isotop U^{235} dalam bahan bakar. Hasil dari variasi pengayaan di ketiga daerah bahan bakar ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan semakin besar pengayaan yang diberikan kepada bahan bakar U^{235} , maka nilai k_{eff} akan semakin meningkat. Hal ini menunjukkan telah terjadi reaksi fisi. Semakin besar pengayaan bahan bakar, maka reaksi fisi juga semakin besar karena jumlah neutron yang dihasilkan semakin meningkat.

3.2 Penambahan Periode *Burn Up*

Burn up (derajat bakar) digunakan untuk menyatakan jumlah bahan bakar yang terbakar atau melakukan reaksi fisi. Hasil dari penambahan periode *burn up* ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan nilai k_{eff} dan rasio konversi setelah penambahan periode *burn up*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin lama proses pembakaran, maka nilai k_{eff} akan semakin kecil



seiring dengan peningkatan nilai rasio konversi. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar fisi memiliki rasio yang lebih rendah dibandingkan periode

awal teras reaktor, sehingga bahan bakar fisil tersebut tidak mampu untuk menyediakan neutron yang cukup dan mengakibatkan teras menjadi kritis ataupun superkritis. Ketika nilai rasio konversi yang dihasilkan cukup baik, teras reaktor akan berada dalam keadaan subkritis [9]. Faktor lain yang mengakibatkan nilai k_{eff} semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu operasi yaitu berkurangnya densitas nuklida fisil dan fertil yang ada di dalam teras reaktor [10].

3.3 Variasi Daya Linear

Perubahan daya linear dapat ditentukan dengan mengubah daya yang ada pada reaktor. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, semakin besar nilai daya linear maka nilai k_{eff} akan semakin kecil [11]. Hasil dari variasi daya linear terhadap nilai keff dan rasio konversi berturut-turut ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 diperoleh bahwa semakin besar nilai daya linear, maka nilai k_{eff} akan menurun. Penurunan nilai k_{eff} akan menyebabkan nilai rasio konversi meningkat. Perubahan daya linear belum memberikan perubahan yang signifikan terhadap nilai rasio konversi. Rasio konversi paling tinggi yang dapat dicapai yaitu 0,763897 dengan k_{eff} 0,9331718 pada daya linear sebesar 2,242152 MW/cm.

3.4 Perubahan Fraksi Volume

Perhitungan fraksi volume digunakan untuk menentukan persentase jumlah material seperti bahan bakar, kelongsong, dan moderator pada teras reaktor. Hasil dari perubahan fraksi volume tiap material ditunjukkan pada Tabel 3.

Hasil nilai k_{eff} dan rasio konversi dari perubahan fraksi volume berturut-turut ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Berdasarkan hasil pada Tabel 4 yang menghasilkan nilai k_{eff} agar reaktor dapat menyala hingga akhir waktu operasi terjadi pada saat daya linear sebesar 1,868460 MW/cm dan 1,943199 MW/cm dengan nilai keff berturut-turut 0,9045485 dan 0,9011962.

Berdasarkan hasil pada Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai rasio konversi yang diperoleh hampir semua 1, hanya pada daya linear 1,868460 MW/cm yang tidak menghasilkan 1. Akan tetapi, jika dilihat dari nilai k_{eff} yang diperoleh tidak semuanya akan menghasilkan reaktor yang dapat menyala hingga akhir waktu operasi.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, perubahan yang signifikan untuk menghasilkan rasio konversi 1 yaitu ketika melakukan perubahan pada persentase bahan bakar (perubahan fraksi volume). Hal ini dikarenakan semakin kecil persentase bahan bakar yang digunakan akan mengakibatkan jumlah

bahan bakar yang digunakan semakin banyak untuk proses pembakaran atau reaksi fisi [12]. Persentase bahan bakar yang kecil akan membuat komposisi bahan fertil yang terdapat dalam reaktor juga sedikit, sehingga untuk menjaga kekritisian reaktor bahan bakar yang digunakan menjadi lebih banyak [10].

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan hasil analisis yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1 Semakin besar persentase pengayaan pada U^{235} , maka nilai k_{eff} akan semakin besar. Persentase yang paling optimal pada daerah 1 (U_1), daerah 2 (U_2), daerah 3 (U_3) sebesar 2,5%.
- 2 Semakin lama periode *burn up*, maka nilai k_{eff} akan menurun dan nilai rasio konversi meningkat. Nilai k_{eff} yang akan membuat reaktor tetap menyala hingga akhir waktu operasi yaitu pada saat periode *burn up* 548 hari.
- 3 Semakin besar nilai daya linear, maka nilai k_{eff} akan menurun dan nilai rasio konversi meningkat. Hal ini dikarenakan berkurangnya nuklida fisil seiring bertambahnya *burn up*. Daya linear yang menghasilkan k_{eff} dan rasio konversi optimal yaitu 1,943199 MW/cm.
4. Desain reaktor yang dapat menghasilkan nilai rasio konversi 1 dengan k_{eff} dapat membuat reaktor menyala hingga akhir yaitu ketika persentase bahan bakar 42%, kelongsong 8%, dan moderator 50%. Persentase di ketiga daerah masing-masing 2,5%, periode operasi reaktor 548 hari, daya reaktor 2600 MW, dan daya linear 1,943199 MW/cm.

PENULIS

- 1 Siska Wulandari
Dari :
(1) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung
- 2 Yanti Yulianti
Dari :
(1) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung
- 3 Agus Riyanto
Dari :
(1) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

Tabel 1: Hasil Nilai k_{eff} Setelah Perubahan Daya Linear

Daya linear (MW/cm)	Faktor multiplikasi efektif (k_{eff})				
	1	2	3	4	5
1,868460	1,2571905	1,1658577	1,1071255	1,0317887	0,9630244
1,943199	1,2571905	1,1645364	1,1038879	1,0268741	0,9569057
2,017933	1,2571905	1,1632335	1,1006818	1,0220242	0,9508358
2,092676	1,2571905	1,1619490	1,0975082	1,0172185	0,9448731
2,167414	1,2571905	1,1606803	1,0943582	1,0124400	0,9389937
2,242152	1,2571905	1,1594301	1,0912373	1,0077035	0,9331718

Tabel 2: Hasil Nilai Rasio Konversi Setelah Perubahan Daya Linear

Daya linier (MW/cm)	Rasio Konversi				
	1	2	3	4	5
1,868460	0,523316	0,549444	0,586792	0,659932	0,730744
1,943199	0,523316	0,550023	0,589368	0,665281	0,737369
2,017933	0,523316	0,550596	0,591946	0,670584	0,744063
2,092676	0,523316	0,551167	0,594510	0,615884	0,750658
2,167414	0,523316	0,551729	0,597124	0,681173	0,757238
2,242152	0,523316	0,552290	0,599743	0,686410	0,763897

Tabel 3: Fraksi Volume Tiap-Tiap Material Pada Teras Reaktor

Komponen	Radius (cm)	Fraksi Volume (%)
Bahan bakar	0,483800	42
Kelongsong	0,527700	8
Moderator	0,746536	50

Tabel 4: Nilai k_{eff} Hasil Dari Perubahan Fraksi Volume

Daya linier (MW/cm)	Faktor multiplikasi efektif (k_{eff})				
	1	2	3	4	5
1,868460	1,1001012	1,0293819	0,9877793	0,9405240	0,9045485
1,943199	1,1001012	1,0283384	0,9856532	0,9376125	0,9011962
2,017933	1,1001012	1,0273144	0,9835747	0,9348528	0,8979238
2,092676	1,1001012	1,0263066	0,9815451	0,9321797	0,8947285
2,167414	1,1001012	1,0253134	0,9795592	0,9296061	0,8916053
2,242152	1,1001012	1,0243342	0,9776062	0,9270913	0,8885544

Tabel 5: Nilai Rasio Konversi Hasil Dari Perubahan Fraksi Volume

Daya linier (MW/cm)	Rasio Konversi				
	1	2	3	4	5
1,868460	0,824758	0,856629	0,890639	0,947135	0,997832
1,943199	0,824758	0,857268	0,892800	0,951023	1,002300
2,017933	0,824757	0,857890	0,894956	0,954791	1,006620
2,092676	0,824758	0,858497	0,897124	0,958446	1,010870
2,167414	0,824758	0,859107	0,899288	0,961966	1,015090
2,242152	0,824757	0,859736	0,901440	0,965417	1,019220

Pustaka

- Badan Tenaga Nuklir Indonesia. Pengenalan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir;. Available from: <http://www.batan.go.id/index.php/id/infonuklir/pltn-infonuklir/generasi-pltn/924-pengenalan-pembangkit-listrik-tenaga-nuklir>.
- Adiwardojo R, Parmanto EM, Effendi E. Mengenal Reaktor Nuklir dan Manfaatnya. Badan Tenaga Nuklir Nasional. 2010;.
- Sugimoto J, Iwamura T, Okubo T, Murao Y. Thermal-hydraulic characteristics of double flat core HCLWR; 1989.
- Ishiguro Y. Development of high conversion light water reactor. Journal of Nuclear Science and Technology. 1989;26(1):33-36.
- Duderstadt JJ. Nuclear reactor analysis. Wiley; 1976.
- Subkhi MN, Suud Z, Waris A, Permana S. Studi Desain Reaktor Air Bertekanan (PWR) Berukuran Kecil Berumur Panjang Berbahan Bakar Thorium. JURNAL ISTEK. 2015;9(1).
- Agung A. Diktat Kuliah: Analisis Reaktor Nuklir. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada; 2017.
- Okumura K. COREBN: A core burn-up calculation module for SRAC2006; 2007.
- Ardiansyah H. Studi Parameter Desain Teras Integral Pressurized Water Reactor dengan Bahan Bakar Mixed Oxide Fuel Menggunakan

- Program SRAC. In: Jurnal Forum Nuklir, vol. 12; 2018. p. 61–72.
10. Sari NP, Fitriyani D, Irka FH. Analisis Neutronik Super Critical Water Reactor (SCWR) dengan Variasi Bahan Bakar (UN-PuN, UC-PuC dan MOX). *Jurnal Fisika Unand*. 2016;5(1):47–52.
 11. Putri AA. Perhitungan Burn Up Model Assembly XY 2 Dimensi pada SCWR menggunakan Bahan Bakar Thorium. 2017;.
 12. Nurkholilah N, Fitriyani D. Analisis Burn Up pada Reaktor Pembiak Cepat Berpendingin Pb-Bi dengan Variasi Fraksi Bahan Bakar dan Bahan Pendingin. *Jurnal Fisika Unand*. 2019;8(2):184–190.