

**ANALISIS PERHITUNGAN *BENCHMARK*
KESELAMATAN KRITIKALITAS LARUTAN URANIL NITRAT
DI TERAS SLAB 280T STACY DENGAN MCNP-4C**

Zuhair, Suwoto, Suharno
Pusat Pengembangan Sistem Reaktor Maju – BATAN

ABSTRAK

ANALISIS PERHITUNGAN *BENCHMARK* KESELAMATAN KRITIKALITAS LARUTAN URANIL NITRAT DI TERAS SLAB 280T STACY DENGAN MCNP-4C. Eksperimen *benchmark* kritikalitas di fasilitas kritik STACY sangat penting untuk memvalidasi teknik komputasi dan pustaka data nuklir yang digunakan dalam desain keselamatan kritikalitas fasilitas daur bahan bakar nuklir. Makalah ini membahas perhitungan *benchmark* keselamatan kritikalitas di fasilitas STACY menggunakan larutan uranil nitrat dengan program transport Monte Carlo MCNP-4C. Pustaka data nuklir energi kontinu ENDF/B-VI dimanfaatkan dalam perhitungan *benchmark* untuk melengkapi analisis keselamatan kritikalitas. Prediksi kritikalitas (k_{eff}) MCNP-4C menunjukkan hasil di atas estimasi untuk hampir seluruh konfigurasi teras. Bias perhitungan dengan eksperimen kritikalitas ($k_{\text{eff}} = 1$) berada di bawah 0,32%. Perhitungan kritikalitas untuk konfigurasi 140, yang memberikan hasil di bawah estimasi, memperlihatkan kesesuaian yang paling presisi dengan nilai C/E = 0,99967. Dari hasil-hasil ini dapat disimpulkan bahwa kapabilitas dan reliabilitas MCNP-4C tetap tinggi dalam akurasi prediksi kritikalitas larutan uranil nitrat di teras slab 280T STACY.

Kata kunci: kritikalitas, larutan uranil nitrat, STACY, teras slab, MCNP-4C

ABSTRACT

ANALYSIS ON BENCHMARK CALCULATION OF CRITICALITY SAFETY FOR URANYL NITRATE SOLUTION AT STACY 280T SLAB CORE USING MCNP-4C. Criticality benchmark experiment at STACY critical facility is important for validation of computation technique and nuclear data library used in design of nuclear fuel cycle criticality safety. This paper discusses criticality safety benchmark calculation at STACY facility, which uses uranyl nitrate solution with MCNP-4C Monte Carlo transport code. The continuous energy nuclear data library was utilized in benchmark calculation to complete criticality safety analysis. The MCNP-4C criticality (k_{eff}) prediction indicated overestimated results for almost all core configurations. The biases of calculation with criticality experiment ($k_{\text{eff}} = 1$) was

energi kontinu ENDF/B-VI [5], dimanfaatkan dalam perhitungan *benchmark* untuk melengkapi analisis keselamatan kritikalitas.

II. DESKRIPSI FASILITAS STACY

Fasilitas STACY terdiri atas tangki teras yang berisi larutan uranil nitrat, sistem pemindah larutan, sistem penanganan larutan dan sistem penyimpanan. Reaktivitas teras dikendalikan dengan mengatur *level* larutan dalam tangki teras. Pada awal operasi, larutan uranil nitrat dimasukkan ke dalam tangki teras hingga mendekati *level* di bawah setengah ketinggian kritis yang diprediksi. Setelah itu, larutan uranil nitrat dimasukkan sedikit demi sedikit hingga kondisi kritis tercapai.

Diagram skematik teras 280T STACY diperlihatkan dalam Gambar 1. Tangki teras *slab* 280T terbuat dari *stainless steel* SUS304L berukuran 280 mm × 690 mm di bagian dalam dan 330 mm × 740 mm di bagian luarnya. Ketebalan dinding tangki teras di bagian sisi, bawah dan atas masing-masing adalah 25 mm, 20 mm dan 25 mm. Tinggi tangki teras di bagian dalam adalah 1.500 mm sehingga di bagian luarnya menjadi 1.545 mm.

Tangki teras didukung oleh empat lengan *stainless steel* (*leg of core tank*) dengan tinggi 140 mm dan berdiri di atas pelat bawah *stainless steel* (*base plate*) yang memiliki panjang 1.000 mm, lebar 1.000 mm dan tebal 30 mm. Pelat bawah ini berada 160 mm di atas dasar tangki kolam kosong yang tidak terisi air. Tangki teras di bagian atas disokong oleh pelat atas *stainless steel* (*upper plate*) yang memiliki ukuran sama seperti pelat bawah. Sumber neutron eksternal Am-Be dimasukkan ke bawah bagian dasar tangki teras pada awal operasi. Struktur dan peralatan lainnya dapat dilihat dalam Gambar 1.

Tangki teras ditempatkan dalam tangki kolam berisi air yang berfungsi sebagai reflektor. Dimensi luar tangki kolam yang terbuat dari *stainless steel* adalah panjang 4.020 mm, lebar 2.020 mm dan tinggi 2.400 mm. Dasar tangki teras berada 330 mm di

langkah eksperimen. Molaritas asam nitrat berada pada interval 0,800 mol/l hingga 0,965 mol/l. Komposisi isotopik uranium dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Data eksperimental teras 280T STACY dalam kondisi kritis.

Kon- figu- rasi	Tanggal ekspe- rimen	Karakteristik larutan uranil nitrat (25°C)			Ketinggian kritis (cm)	Tempe- ratur (°C)
		Konsen- trasi U (gU/l)	Molaritas asam (mol/l)	Densitas (g/cm ³)		
105	16.04.97	464,2±0,8	0,852±0,018	1,6462±0,0005	40,09±0,02	23,8
113	07.05.97	429,9±0,8	0,800±0,020	1,5997±0,0005	42,77±0,02	24,8
125	18.06.97	371,9±1,1	0,800±0,020	1,5237±0,0005	51,37±0,02	23,1
129	04.07.97	350,8±0,7	0,800±0,020	1,4957±0,0005	56,96±0,02	23,7
131	10.07.97	328,9±0,6	0,800±0,020	1,4665±0,0005	66,39±0,02	23,4
140	08.10.97	311,4±0,7	0,955±0,015	1,4465±0,0005	81,47±0,02	21,7
196	26.08.98	299,6±0,6	0,965±0,015	1,4318±0,0004	102,34±0,02	22,8

Tabel 2. Komposisi isotopik uranium.

Isotop	% Berat
²³⁴ U	0,08
²³⁵ U	9,97
²³⁶ U	0,01
²³⁸ U	89,94

III. MODEL PERHITUNGAN *BENCHMARK*

Model *benchmark* teras 280T STACY dalam perhitungan kritikalitas dengan MCNP-4C diperlihatkan dalam Gambar 2. Model *benchmark* 3-D X-Y-Z ini terdiri atas larutan uranil nitrat, tangki teras dan reflektor air. Ketebalan reflektor air yang berada di sisi dan bawah tangki teras dimodelkan 30 cm sedangkan di atas tangki teras 20 cm.

Struktur dan peralatan fasilitas STACY seperti empat lengan penyokong tangki teras, enam detektor neutron untuk operasi reaktor, sembilan detektor neutron dan

Tabel 3. Densitas atom (atom/barn-cm) larutan uranil nitrat (25°C).

Kon-figu-rasi	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U	H	N	O
105	9,5555.10 ⁻⁷	1,1858.10 ⁻⁴	1,1843.10 ⁻⁷	1,0562.10 ⁻³	5,5582.10 ⁻²	2,8647.10 ⁻³	3,8481.10 ⁻²
113	8,8494.10 ⁻⁷	1,0981.10 ⁻⁴	1,0968.10 ⁻⁷	9,7813.10 ⁻⁴	5,6459.10 ⁻²	2,6597.10 ⁻³	3,8146.10 ⁻²
125	7,6555.10 ⁻⁷	9,4999.10 ⁻⁵	9,4881.10 ⁻⁸	8,4617.10 ⁻¹	5,7800.10 ⁻²	2,3658.10 ⁻³	3,7641.10 ⁻²
129	7,2211.10 ⁻⁷	8,9609.10 ⁻⁵	8,9498.10 ⁻⁸	7,9816.10 ⁻⁴	5,8265.10 ⁻²	2,2589.10 ⁻³	3,7445.10 ⁻²
131	6,7703.10 ⁻⁷	8,4015.10 ⁻⁵	8,3910.10 ⁻⁸	7,4833.10 ⁻⁴	5,8738.10 ⁻²	2,1480.10 ⁻³	3,7238.10 ⁻²
140	6,4101.10 ⁻⁷	7,9545.10 ⁻⁵	7,9446.10 ⁻⁸	7,0852.10 ⁻⁴	5,8778.10 ⁻²	2,1527.10 ⁻³	3,7137.10 ⁻²
196	6,1672.10 ⁻⁷	7,6531.10 ⁻⁵	7,6435.10 ⁻⁸	6,8167.10 ⁻⁴	5,9066.10 ⁻²	2,0989.10 ⁻³	3,7057.10 ⁻²

Densitas atom larutan uranil nitrat ditabulasikan dalam Tabel 3. Densitas *stainless steel* SUS304L adalah 7,93 g/cm³. Densitas atom *stainless steel* yang digunakan untuk tangki teras, tangki kolam reflektor air dan struktur material lainnya diberikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Densitas atom (atom/barn-cm) *stainless steel*, reflektor air dan udara.

Stainless stell		Reflektor air		Udara	
C	7,1567. 10 ⁻⁵	H	6,6658. 10 ⁻²	N	3,9016. 10 ⁻⁵
Si	7,1415. 10 ⁻⁴	O	3,3329. 10 ⁻²	O	1,0409. 10 ⁻⁵
Mn	9,9095. 10 ⁻⁴				
P	5,0879. 10 ⁻⁵				
S	1,0424. 10 ⁻⁵				
Ni	8,5600. 10 ⁻³				
Cr	1,6725. 10 ⁻²				
Fe	5,9560. 10 ⁻²				

TMP card sangat kecil sehingga pengaruh perbedaan temperatur ($0,2-3,3^{\circ}\text{C}$) dapat diabaikan.

Tabel 5. Hasil perhitungan *benchmark* kritikalitas (k_{eff}) teras slab 280T STACY.

Konfigurasi	Perhitungan MCNP-4C
105	$1,00316 \pm 0,00046$
113	$1,00185 \pm 0,00041$
125	$1,00167 \pm 0,00043$
129	$1,00148 \pm 0,00039$
131	$1,00086 \pm 0,00037$
140	$0,99967 \pm 0,00037$
196	$1,00063 \pm 0,00039$

Hasil perhitungan *benchmark* kritikalitas (k_{eff}) larutan uranil nitrat teras slab 280T STACY diberikan dalam Tabel 5. Prediksi kritikalitas (k_{eff}) MCNP-4C menunjukkan hasil di atas estimasi untuk hampir seluruh konfigurasi teras. Bias seluruh perhitungan dengan eksperimen kritikalitas ($k_{\text{eff}} = 1$) berada di bawah 0,32%. Perhitungan kritikalitas untuk konfigurasi 140, yang memberikan hasil di bawah estimasi, memperlihatkan kesesuaian yang paling baik dengan nilai $C/E = 0,99967$.

Peranan ENDF/B-VI, khususnya tampang lintang tangkapan ^{235}U dalam jangkauan energi resonansi yang relatif kecil dan tampang lintang (n, p) dari ^{14}N di daerah energi termal yang relatif kecil juga, turut menyumbang akurasi prediksi kritikalitas larutan uranil nitrat di teras slab 280T STACY. [6]

V. KESIMPULAN

Eksperimen *benchmark* kritikalitas di fasilitas kritik STACY sangat penting untuk memvalidasi teknik komputasi dan pustaka data nuklir yang digunakan dalam desain keselamatan kritikalitas fasilitas daur bahan bakar nuklir.

-
- using a 28-cm-thickness slab core, *Journal of Nuclear Science and Technology*, **39** (7) (2002) 789-799
4. BRIESMEISTER, J.F., *ed.*, "MCNP: A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4C", LA-13709-M, 2000
 5. HENDRICKS, J.S., FRANKLE, S.C., COURT, J.D., "ENDF/B-VI data for MCNP", Los Alamos National Laboratory Report, LA-12891, 1994.
 6. Japanese Nuclear Data Committee, "Activity Report of Japanese Nuclear Data Committee in Period of April 1999 to March 2001", *Journal of Atomic Energy Society, Japan*, **44** (1) (2002) 106.