

**PERANCANGAN FUEL ASSEMBLY SMALL PWR BERBAHAN BAKAR
URANIUM MONONITRIDA BERBASIS FULLY CERAMIC
MICROENCAPSULATED MENGGUNAKAN SCALE DAN SERPENT**

Oleh

Arief Rahman Hakim
13/346928/TK/40709

Diajukan kepada Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada pada tanggal 22 September 2017
Untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh derajat
Sarjana S-1 Program Studi Teknik Nuklir

INTISARI

Setelah kecelakaan pada unit PLTN Fukushima Daichii, konsep sistem bahan bakar *Accident Tolerant Fuel* (ATF) diajukan. Sebagai salah satu bahan bakar yang mengadopsi konsep ATF, *fully ceramic micro-encapsulated fuel* (FCMF) dengan menggunakan uranium mononitrida (UN) memiliki keunggulan dari aspek keselamatan meskipun memiliki performa neutronik yang tidak lebih baik seperti berkurangnya muatan bahan bakar dikarenakan penggunaan matriks dan kerugian ekonomi neutron dikarenakan N^{14} . Untuk menerapkan teknologi UN-FCM pada *Small-PWR*, penelitian pada tingkat *fuel assembly* perlu dilakukan untuk memastikan perancangan *fuel assembly* yang dilakukan memiliki fitur keselamatan yang melekat. Penelitian ini akan mengevaluasi dampak variasi *pitch* batang bahan bakar, *packing fraction*, pengayaan N^{15} , dan pengayaan U^{235} terhadap koefisien reaktivitas suhu bahan bakar, koefisien reaktivitas *void*, *burnup* dan panjang siklus untuk mendapatkan zona perancangan *fuel assembly* dengan fitur keselamatan yang melekat. Kemudian, performa UN-FCM dan UO_2 -FCM akan disimulasikan pada desain *fuel assembly* yang diajukan untuk mengetahui perbandingan performa neutronik yang meliputi koefisien reaktivitas suhu bahan bakar, koefisien reaktivitas *void*, dan panjang siklus.

Perangkat bahan bakar yang menggunakan bahan bakar UN-FCM dimodelkan menggunakan kode SERPENT and SCALE. Pada kode SERPENT, partikel FCM

yang terdispersi pada batang bahan bakar dimodelkan menggunakan *repeated regular cuboid lattice*. Pada kode SCALE, partikel FCM yang terdispersi pada batang bahan bakar akan dihomogenisasi menggunakan doublehet-cell menghasilkan *cell-weighted*.

Penelitian menunjukkan bahwa desain perangkat bahan bakar yang diajukan memiliki fitur keselamatan yang melekat terkait koefisien reaktivitas suhu bahan bakar dan koefisien reaktivitas void pada awal siklus. Hasil perhitungan koefisien reaktivitas suhu bahan bakar menggunakan SCALE & SERPENT pada suhu rendah: $-4,403 \pm 0,1304$ pcm/K & $-4,251 \pm 0,03385$ pcm/K, suhu operasi: $-1,959 \pm 0,02516$ pcm/K & $-2,323 \pm 0,09892$ pcm/K, dan suhu transien: $-2,083 \pm 0,3196$ pcm/K & $-1,592 \pm 0,01780$ pcm/K. Hasil perhitungan koefisien reaktivitas void menggunakan SCALE & SERPENT pada kondisi *low-void*: $-0,01757 \pm 0,0066$ /% void & $-0,02544 \pm 0,006$ /% void dan *high-void*: $-0,12660 \pm 0,0144$ /% void & $-0,13490 \pm 0,0192$ /% void. Meskipun demikian, saat operasi perangkat bahan bakar akan kehilangan fitur keselamatan melekat karena meningkatnya nilai *moderator-to-fuel ratio* ketika beroperasi. Hasil simulasi *burnup* menunjukkan bahwa untuk meningkatkan performa bahan bakar UN-FCM, penambahan pengayaan N^{15} diperlukan. Bahan bakar UN-FCM dengan tingkat pengayaan N^{15} terbukti memiliki *burnup* yang lebih tinggi: 25,99 GWd/MTU jika dibandingkan dengan bahan bakar UO_2 -FCM: 24,62 GWd/MTU.

Kata kunci : *Accident Tolerant Fuel, Fully Ceramic Micro-encapsulated, Uranium Mononitrida.*

Pembimbing Utama : Dr. Alexander Agung, S.T., M.Sc.

Pembimbing Pendamping : Dr. Ir. Andang Widi Harto, M.T.

**DESIGNING FUEL ASSEMBLY IN SMALL-PWR USING URANIUM
MONONITRIDE FULLY CERAMIC MICROENCAPSULATED BASED
USING SCALE AND SERPENT**

By

Arief Rahman Hakim
13/346928/TK/40709

Submitted to the Department of Nuclear Engineering and Engineering Physics
Faculty of Engineering Universitas Gadjah Mada on 22 September 2017
in partial fulfilment of the requirements for the Degree of
Bachelor of Engineering in Nuclear Engineering

ABSTRACT

After Fukushima Daiichi nuclear power plant accident, Accident Tolerant Fuel (ATF) was proposed. As one of the fuels categorized as ATF, fully ceramic micro-encapsulated fuel (FCMF) using uranium mononitride (UN) has better safety aspects than UO_2 pellet fuel although it might not have better neutronic performance such as decreased fuel loading because the use of matrix and neutron economy disadvantage because of N^{14} . To implement UN-FCM technology in *Small-PWR*, further research must be done to make sure the proposed design of fuel assembly has inherent safety feature. This paper focuses to evaluate the impact of varying fuel rod pitch, packing fraction, N^{15} enrichment, and U^{235} enrichment to fuel temperature reactivity coefficient, void reactivity coefficient, burnup and cycle length to produce fuel assembly design zone which has inherent safety feature. Furthermore, UN-FCM and UO_2 -FCM will be simulated in proposed fuel assembly design to compare the fuel performance including fuel temperature reactivity coefficient, void reactivity coefficient, and cycle length. UN-FCM based fuel assembly was modelled in SERPENT and SCALE. In SERPENT, FCM particle was modelled using repeated regular cuboid lattice in fuel rod. In SCALE, UN-FCM was modelled using doublehet-cell which the dispersed particle was homogenized into cell-weighted.

This paper shows that the proposed fuel assembly design at beginning of life has an inherent safety feature according to fuel temperature reactivity coefficient and void reactivity coefficient. Fuel temperature reactivity coefficients were calculated by SCALE&SERPENT in low temperature: -4.403 ± 0.1304 pcm/K & -4.251 ± 0.03385 pcm/K, operating temperature: -1.959 ± 0.02516 pcm/K & -2.323 ± 0.09892 pcm/K, and transient temperature: -2.083 ± 0.3196 pcm/K & -1.592 ± 0.01780 pcm/K. Void reactivity coefficients were calculated by SCALE & SERPENT in 2 conditions: low void condition: -0.01757 ± 0.0066 /% void & -0.02544 ± 0.006 /% void and high void condition: -0.12660 ± 0.0144 /% void & -0.13490 ± 0.0192 /% void. However, during the operation the system will lose inherent safety feature due to the increase of moderator-to-fuel ratio. The burnup simulation shown that to improve UN-FCM based fuel, an increase of N^{15} enrichment is necessary. UN-FCM based fuel with 50% enrichment of ^{15}N has a higher burnup: 25.99 GWd / MTU compared to UO_2 -FCM based fuel: 24.62 GWd / MTU.

Keywords : *Accident Tolerant Fuel, Fully Ceramic Micro-encapsulated, Uranium Mononitride.*

Supervisor : Dr. Alexander Agung, S.T., M.Sc.

Co-supervisor : Dr. Ir. Andang Widi Harto, M.T.