

**STUDI PERHITUNGAN SEL BAHAN BAKAR BERBASIS URANIUM METAL
(U-10%wtZr) BERPENDINGIN HELIUM MENGGUNAKAN PROGRAM SRAC
(STANDARD REACTOR ANALYSIS CODE) 2K6**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar

Sarjana Sains Bidang Studi Fisika



Diajukan oleh :

SUCI CLAUDIA PUTRI

08021181621007

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2020

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI PERHITUNGAN SEL BAHAN BAKAR BERBASIS URANIUM METAL
(U-10%wtZr) BERPENDINGIN HELIUM MENGGUNAKAN PROGRAM SRAC
(STANDARD REACTOR ANALYSIS CODE) 2K6.**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika

Oleh :

Suci Claudia Putri
NIM. 08021181621007

Indralaya, Agustus 2020

Menyetujui,

Pembimbing II

Dr. Idha Royani, S.Si., M.Si.
NIP. 197105151999032001

Pembimbing I

Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si.
NIP. 197002231995121002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika

Dr. Febiyuk Purba, S.Si., M.T.
NIP. 197003101994121001

Ku persembahkan skripsi ini untuk:

***Bapak , Mamak, adik-adik, dan orang- orang yang selalu
mensupportku selama ini.***

TERIMAKASIH

MOTTO

“ orang-orang yang beriman dan hati mereka tentram dengan mengingat Allah. Ingatlah, hanya dengan mengingat Allah hati menjadi tentram “

Q.s Al'Ra'd : 28

Untuk mendapatkan apa yang diinginkan, kau harus bersabar dengan apa yang kau benci

Imam Ghazali

**Lord knows, dream are hard to follow
But don't let anyone tear them away
Hold on, there will be tomorrow
In time, you'll find the way**

Hero_Mariah

Carey

Kamu adalah definisi kesempurnaan dari diri kamu sendiri ketika kamu bahagia dengan dirimu sendiri

Jae Day6

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, sebagai pencipta atas segala kehidupan yang senantiasa memberikan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini diajukan dengan tujuan melengkapi persyaratan kurikulum guna memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya berjudul **“Studi Perhitungan Sel Bahan Bakar Berbasis Uranium Metal (U-10%Wt_{zr}) Berpendingin Helium Menggunakan Program SRAC (Standard Reactor Analysis Code) 2k6.”** Guna menjadi pertimbangan untuk mendapatkan desain teras reaktor yang optimum. Penulis menyadari penelitian ini masih jauh sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak guna perbaikan dan kelengkapan penyusun skripsi ini dan penulis berharap semoga bermanfaat bagi pembaca agar dapat dilanjutkan ke penelitian berikutnya dalam pengembangan reaktor nuklir dan PLTN di Indonesia.

Skripsi ini bukanlah sebuah karya individual, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak yang tanpanya, penelitian dan skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu Penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT
2. Kedua orang tua (Mardansi dan Ida Royani) dan kedua adikku (Arum Dwi Cahyani dan Muhammad Billal Ragil. yang telah memberikan doa dan dukungan selama menempuh pendidikan ini, tanpa mereka pasti saya tidak akan bisa sampai pada tahap ini
3. Bapak Dr. Fiber monado, S.Si., M.Si. selaku pembimbing I dan Ibu Dr. Idha Royani, S.Si., M.Si. selaku pembimbing II. Terimakasih karena menjadi orang tua keduaku di kampus. Terimakasih atas waktunya, ilmunya dan support dari bapak dan ibu yang selalu sabar dan ikhlas dalam membantu saya untuk menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Dedi Setiabudidaya, Bapak Drs. Octavianus C. Satya dan ibu Dr. Menik Ariani S. Si., M. Si., selaku dosen penguji yang senantiasa meluangkan

waktunya untuk hadir dalam pemaparan skripsi saya dan memberikan masukan sangat membangun untuk membantu dalam penulisan skripsi saya.

5. Ibu Dr. Siti Sailah selaku, S.Si, M.T. pembimbing akademik.
6. Bapak Dr. Friansyah Virgo, M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika.
7. Bapak dan Ibu dosen serta staff administrasi Jurusan Fisika Universitas Sriwijaya.
8. Terima kasih untuk Matahari yang senantiasa bersinar.
9. Terima kasih buat temen terbaik ku “*Us* (Paul dan Nurul)”, “*squad comel* (Unul, Teh Anik, Aul, Sheren, Rina dan Alzirah), Ashri dan Ayang yang tak bosan ku tanya-tanya serta sahabat terbaikku Mau dan Try terima kasih untuk segalanya dan tak lupa *uri sebongieeee*.
10. Untuk sahabatku dikost an, makasih udah jadi sumber *happy* sama sumber pusingku pas pulang ngampus dan saling *suport* satu sama lain sepupuku Gita, mbak Retno dan Reja.
11. Teman-teman seperjuangan angkatan 2016, Eliners, kakak angkatan 2014 dan 2015, adek angkatan 2017 dan 2018 serta Himafia atas bantuannya dalam segala hal. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu yang baik secara langsung maupun tidak langsung turut membantu penyusunan laporan ini.

Terima kasih kepada orang-orang baik, yang selalu memberi energi positif di saat persoalan hidup sedang pelik. Semoga seluruh kebaikan yang telah diberikan kepada Penulis untuk menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dibalas oleh Allah SWT.

Indralaya, Agustus 2020

Penulis

Suci Claudia Putri

NIM. 08021181621007

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
MOTTO	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR ISTILAH	xi
ABSTRAK	xii
ABSTRACT	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)	4
2.2. Reaktor Nuklir	4
2.2.1. Bahan bakar (<i>fuel</i>)	5
2.2.2. Pendingin	6
2.2.3. <i>Cladding</i>	7
2.3. Reaksi Inti	8
2.4. Tampang Lintang Nuklir.....	9
2.5. Faktor Multiplikasi dan Kekritisan Nuklir	10
2.6. Analisis Neutronik	11
2.7. Persamaan Transport Neutron.....	11
2.8. Persamaan <i>Burn-up</i>	12
2.9. <i>Conversion Ratio</i>	13
2.10. SRAC	13
BAB III	16
METODE PENELITIAN	16

3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2.	Alat dan Bahan Penelitian.....	16
3.3.	Tahapan Penelitian.....	16
3.4.	Spesifikasi Desain Sel Bahan Bakar	17
3.5.	Diagram Alir Penelitian	18
3.6.	Parameter Survei.....	18
BAB IV	.....	19
HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	19
BAB V	.....	30
PENUTUP	.....	30
5.1.	Kesimpulan	30
5.2.	Saran	30
DAFTAR PUSTAKA	.....	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir	4
Gambar 2.2. Rantai konversi uranium	6
Gambar 2.3. Reaksi fisi.....	8
Gambar 2.4. Pengaruh waktu terhadap populasi nuklir	10
Gambar 2.5. Struktur sistem SRAC	14
Gambar 3.1. Geometri sel bahan bakar	16
Gambar 3.2. Diagram alir perhitungan sel bahan bakar.....	17
Gambar 4.1. Desain sel bahan bakar berbentuk pin.....	18
Gambar 4.2. Faktor multiplikasi tak hingga selama 100, 120, 140 dan 160 tahun waktu <i>burn-up</i>	20
Gambar 4.3. Level <i>burn-up</i> selama 100, 120, 140 dan 160 tahun waktu <i>burn-up</i>	21
Gambar 4.4. <i>Conversion ratio</i> selama 100, 120, 140 dan 160 tahun waktu <i>burn-up</i>	22
Gambar 4.5. Distribusi densitas atom U-235 selama 100, 120, 140 dan 160 tahun <i>burn-up</i>	24
Gambar 4.6. Distribusi densitas atom U-238 selama selama 100, 120, 140 dan 160 tahun <i>burn-up</i>	24
Gambar 4.7. Distribusi densitas atom Pu-239 selama selama 100, 120, 140 dan 160 tahun <i>burn-up</i>	25
Gambar 4.8. Perbandingan nilai faktor multiplikasi tak hingga (k_{inf}) dengan pembagian fraksi <i>volume</i> 55%-65% <i>fuel</i> , 10% <i>cladding</i> dan 25%-35% <i>collant</i>	26

Gambar 4.9. Perbandingan nilai level <i>burn-up</i> dengan pembagian fraksi <i>volume 55%-65% fuel, 10% cladding dan 25%-35%</i> <i>Collant</i>	26
Gambar 4.10. Perbandingan nilai level <i>burn-up</i> dengan pembagian <i>fraksi volume 55%-65% fuel, 10% cladding dan 25%-35%</i> <i>collant</i>	27
Gambar 4.11. Perbandingan nilai densitas atom Pu-239 dengan pembagian fraksi <i>volume 55%-65% fuel, 10% cladding dan 25%-35%</i> <i>collant</i>	27

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Spesifikasi Desain Bahan Bakar	16
Tabel 3.2. Faktor multiplikasi tak hingga selama 100, 120, 140 dan 160 tahun waktu <i>burn-up</i>	19
Tabel 4.2 <i>Conversion ratio</i> selama 100, 120, 140 dan 160 tahun waktu <i>burn-up</i>	22

DAFTAR ISTILAH

<i>Burn-up</i>	: banyaknya energi yang dihasilkan persatuan berat bahan bakar dalam reaktor.
<i>Cladding</i>	: berupa kelongsong yang berfungsi sebagai pelindung bahan bakar serta pemisa bahan bakar dengan pendingin.
<i>Conversion ratio</i>	: perbandingan antara jumlah atom fisil bahan yang diproduksi dengan jumlah taom fisil yang dikonsumsi dalam reaktor.
Densitas atom	: populasi atom dalam setiap satuan
<i>Fisi</i>	: reaksi pembelahan atom antara partikel neutron dengan inti atom yang disertai dengan pelepasan neutron dan energi.
<i>Fusi</i>	: reaksi penggabungan antara dua inti atom yang ringan menjadi atom yang lebih berat disertai dengan pelepasan energi.
K_{inf}	: konstanta untuk mengetahui tingkat populasi neutron di dalam satu sel bahan bakar tanpa adanya faktor kebocoran ke luar teras reaktor.
Level <i>burn-up</i>	: total energi yang dihasilkan dalam satu hari per ton bahan bakar.
Neutronik	: segala sesuatu yang mencakup populasi neutron, distribusi neutron, energi neutron, kerapatan neutron dan fluks neutron.
Penampang lintang	: probabilitas terjadinya suatu reaksi antara neutron dengan inti atom

**STUDI PERHITUNGAN SEL BAHAN BAKAR BERBASIS URANIUM
METAL (U-10%wtZr) BERPENDINGIN HELIUM MENGGUNAKAN
PROGRAM SRAC (STANDARD REACTOR ANALYSIS CODE) 2K6.**

OLEH :

SUCI CLAUDIA PUTRI

08021181621007

ABSTRAK

Penelitian ini mendesain sel bahan bakar berupa Uranium Metal Alam (U-10% wtZr) dengan pendingin Helium. Sel bahan bakar ini berbentuk pin dengan diameter 1,4 cm. Sel bahan bakar diuji tanpa pengkayaan dan pengkayaan (*enrichment*) 2-10%. Perhitungan sel bahan bakar berdasarkan persamaan transport neutron menggunakan SRAC. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa semakin besar tingkat pengkayaan maka nilai K_{inf} yang diperoleh semakin besar sedangkan untuk nilai *conversion ratio* nilai *conversion ratio* yang diperoleh semakin kecil. Desain sel bahan bakar yang terbaik adalah dengan tingkat pengkayaan 4%, karena nilai K_{inf} dan *conversion ratio* menunjukkan nilai stabil (menuju nilai satu). Dengan diketahuinya informasi performa sel bahan bakar nuklir dari berbagai variasi komposisi agar menjadi bahan pertimbangan untuk mendapatkan desain teras reaktor yang optimum.

Kata kunci : pin , U-10%wtZr, *enrichment*, k_{inf} , *conversion ratio*, densitas atom, SRAC.

**STUDY OF CALCULATION OF BURNUP FUEL CELL URANIUM
METALIC (U-10%wtZr) WITH HELIUM COOLED USING THE SRAC
(STANDARD REACTOR ANALYSIS CODE) 2K6 PROGRAM**

BY :

SUCI CLAUDIA PUTRI

08021181621007

ABSTRACT

The research designs a fuel cell in the form of natural metal with helium cooling. The fuel cell is a pin with a diameter of 1,4 cm. Fuel cells tested without enrichment and 2-10% enrichment. Fuel cell calculation based on the neutron transport equation using SRAC. The calculation show that greater the level of enrichment, the greater the k_{inf} obtained, while for the ratio conversion value, the smaller the conversion value obtained. The best fuel cell design is with an enrichment rate of 4% because the k_{inf} value and conversion ratio show a stable value (toward a value of 1). By knowing fuel cell performance information from various variations of the composition in order to become materials to get the optimal reactor core design.

Keyword : pin, U-10% wtZr, enrichment, k_{inf} , conversion ratio, atomic density, SRAC.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sejumlah besar energi sangat diperlukan untuk mendukung kehidupan manusia, salah satunya energi yang sering digunakan adalah energi fosil. Namun bahan bakar fosil memiliki masalah dengan sumber daya yang terbatas dan penurunan jumlah minyak yang dapat digunakan untuk kepentingan umat manusia. Sehingga potensi energi lainnya harus diperkuat. Salah satu energi alternatif yang diharapkan dapat menggantikan bahan bakar fosil adalah energi nuklir.

Energi nuklir merupakan energi yang dihasilkan dari reaksi nuklir. Reaksi nuklir merupakan sebuah proses dua partikel nuklir saling bertabrakan sehingga menghasilkan produk yang berbeda dari produk awal. Reaksi nuklir terjadi bisa dengan cara pembelahan (fisi) dan penggabungan (fusi) (Alatas dkk., 2016). Prinsip kerja dari pembangkit listrik tenaga nuklir secara umum, memanfaatkan panas yang dihasilkan oleh bahan bakar sebagai pembangkit uap. Perbedaan antara pembangkit listrik tenaga nuklir dan pembangkit listrik lainnya adalah dari bahan bakar yang digunakan. Pembangkit listrik tenaga nuklir mendapatkan energi panas dari reaksi fisi nuklir yang terjadi pada teras reaktor nuklir (Duderstadt dan Hamilton, 1976).

Sebuah sistem dari reaktor nuklir di mana dapat mengontrol dan mempertahankan reaksi nuklir. Dalam reaktor nuklir, energi yang dihasilkan yaitu dalam bentuk energi panas. Maka dari itu, reaktor memerlukan material yang dapat menyerap kalor dengan baik, penyerapan neutron yang kecil, kuat terhadap radiasi dan *temperature* tinggi pendinginan. Pendingin ini digunakan untuk menyalurkan panas yang dihasilkan ketika reaksi pembelahan berantai berlangsung (Susanty *et.al.*, 2019).

Bahan bakar nuklir merupakan komponen utama yang bahan bakar dengan sifat membelah ketika bereaksi dengan neutron, terbuat dari isotop alam misalnya uranium (Ardiwardojo *et.al.*, 2010). Terdapat dua jenis isotop Uranium di alam, yakni Uranium-238 (99,3%) dan Uranium-235 (0,7%). U-238 adalah bahan tidak dapat membelah artinya tidak dapat melangsungkan reaksi fisi dengan neutron atau yang sering disebut dengan bahan *fertile* sedangkan U-235 adalah bahan yang dapat langsung bereaksi dengan

neutron dan melakukan reaksi fisi nuklir atau yang sering disebut bahan fisil (Walter dan Reynolds, 1981).

Pada penelitian ini penulis melakukan perhitungan sel bahan bakar berbahan uranium metal yakni uranium alam (uranium-238 dan uranium-235) penggunaan uranium alam karena tingkat ketersediannya di alam yang relatif banyak. Kemudian Uranium akan dipadukan dengan zirkonium 10% (U-10%wtZr). Penambahan dari zirkonium ini berguna untuk mempercepat reaksi fisinya (Walter dan Reynolds, 1981). Sel bahan bakar diuji tanpa pengayaan dan pengayaan 1-10%. Peneliti melakukan perhitungan sel bahan bakar agar tetap dalam keadaan kritis untuk waktu *burn-up* 100-160 tahun, serta melakukan perbandingan parameter survei antara waktu *burn-up* 100-160 tahun.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan Penelitian ini memiliki rumusan masalah diantaranya:

1. Bagaimana desain sel bahan bakar berbasis Uranium Metal (U-10%wtZr) berpendingin helium agar tetap dalam keadaan kritis untuk waktu *burn-up* 100-160 tahun?
2. Bagaimana perbandingan dari parameter survei berupa level *burn-up*, faktor multiplikasi tak hingga, *conversion ratio* dan densitas atom antara waktu *burn-up* 100 tahun, 120 tahun, 140 tahun dan 160 tahun?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah sel bahan bakar yang digunakan yaitu Uranium Metal (U-10%wtZr) berpendingin helium dengan tingkat pengayaan sel bahan bakar 1-10%. Analisis sel bahan bakar dilakukan dengan program SRAC (*Standard Reactor Analysis Code*) 2K6.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan diantaranya:

1. Melakukan perhitungan sel bahan bakar guna mengetahui nilai level *burn up*, faktor multiplikasi tak hingga, densitas atom dan *conversion ratio*.
2. Melakukan perbandingan parameter survei antara waktu *burn-up* 100-160 tahun.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini berguna untuk memberi info dan dijadikan sebagai referensi penelitian selanjutnya khususnya untuk perhitungan sel bahan bakar guna mendapatkan teras reaktor yang optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiwardojo, Lasman, N., Ruslan, parmanto, E. M., Effendi, E., 2010. *Mengenal Reaktor Nuklir dan Manfaatnya*. Jakarta: Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Ariani, M., Su'ud, Z. dan Monado, F., 2013. *Design of Gas - Cooled Fast Reactor 600 MWth with Natural Uranium As Fuel Circle Input*. Jurnal Ilmu Dasar, 1 (14) : 11.
- Alatas, Z., Hidayati, S., Akhadi, M., Purba, M., Purwadi, D., Ariyanto, S., Winarno, H., Rismiyanto, Sofyatiningrum, E., Hendriyanto, Widyastono, H., dan Syahril, 2016. *Buku Pintar Nuklir*. Jakarta : Batan Press.
- BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional). Reaktor dan Klasifikasinya. Diakses dari <http://www.batan.go.id/index.php/id/infonuklir/reaktor-infonuklir/814> tanggal Februari 2020.
- Bastori, I. dan Birmano, M. D., 2017. Analisis Ketersediaan Uranium di Indonesia untuk Kebutuhan PLTN Tipe PWR 1000 MWe. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir* , Jakarta, 95-96.
- Cinantya, D. dan Fitriyani, D., 2014. Analisis Neutronik Pada Reaktor Cepat Dengan Variasi Bahan bakar (UN-PuN, UC-PuC dan MOX). *Jurnal Fisika Unand*,1(3): 1.
- Duderstadt, J. J. dan Hamilton, L.J., 1976. *Nuclear Reactor Analysis*. New York : John Wiley & Sons.
- Faula, U., 2019. *Desain Konseptual Reaktor Nuklir Tipe Gfr (Gas-Cooled Fast Reactor) Menggunakan Strategi Burn-Up Modified Candle Berbasis Bahan Bakar Uranium Metal (U-10%WtZr) Dan Pendingin Co2*. Skripsi. Indralaya : Universitas Sriwijaya.
- Hafizi, I., Widjijiono. W., dan Soesatyo, M. H. N. E., 2016. Penentuan Konsentrasi Stainless Steel dan Kobalt Kromium pada Uji GPMT. *Makalah Kedokteran Gigi Indonesia*. Vol 2 No 3. 121-123.
- Harjanto, N. T., 2008. *Dampak Lingkungan Pusat Listrik Tenaga Fosil dan Prospek PLTN Sebagai Sumber Energi Listrik Nasional*. ISSN 1979-2409: 41-42.
- Islami, I. N., Tismawati, H., dan Subkhi, M. N., 2019. Studi Distribusi Neutronik Fluks Pada Reaktor Nuklir Sederhana. *jurnal Wahana Fisika*.

- Lestari, M. A. (2014). Pengaruh Bahan Bakar UN-PuN, UC-PuC dan MOX Terhadap Nilai *Breeding Ratio* pada Reaktor Pembiak Cepat. *Jurnal Fisika Unand*, Padang, 14-15.
- NEA (Nuclear Energy Agency), 2014. *Technology Roadmap Update for Generation IV Nuclear Energy System*. NEA Publishing.
- Riska, Fitriyani, D. dan Irka, F. H., 2016, Analisis Neutronik pada Gas *Colled Fast Reactor* (GCFR) dengan Variasi Pendingin (He, Co₂, N₂). *Jurnal Fisika Unand*, Padang, 28-29.
- Shafii, M. A., 2015. Perhitungan Penampang Lintang Mikroskopik dalam Sel Bahan Bakar Nuklir. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. Vol 16 No 1. 23-25.
- Suhaemi, T., 2016. Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) Menopang Kebutuhan Energi Listrik Nasional. *Seminar Nasional TEKNOKA_FT UHAMKA*. Vol 2 No 1. 162-163.
- Supriatna, P., 2009. Kajian Awal Pemurnian Gas He Pendingin Primer Reaktor Kogenerasi. *Prosiding PPI-PDIPTN*. BATAN. 125-126.
- Susanty, E., Ariani, M., Su'ud, Z. dan Monado F., 2019. Calculation of Burn-up Fuel Cell Uranium Metallic with Carbon Dioxide Colled. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol.1282 No 1.
- Okumura, K., Teruhiko, K., Kunio, K. dan Keichiro, T., 2002. *General Description and Input Instruction*. JAERI. Japan.
- Okumura, K. 2007. Introduction of SRAC for Reactor Physics Analyses. JAERI. Japan.
- Walter, A. E. dan Reynolds, A. B., 1981. *Fast Breeder Reactors*. New York : Pergamon Press.
- Waluyo. A., 2014. Analisis Kekritisian Tabung Hidriding di IEBE dengan Menggunakan Program Komputer SCALE6.1. *Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir*. BAPETEN.