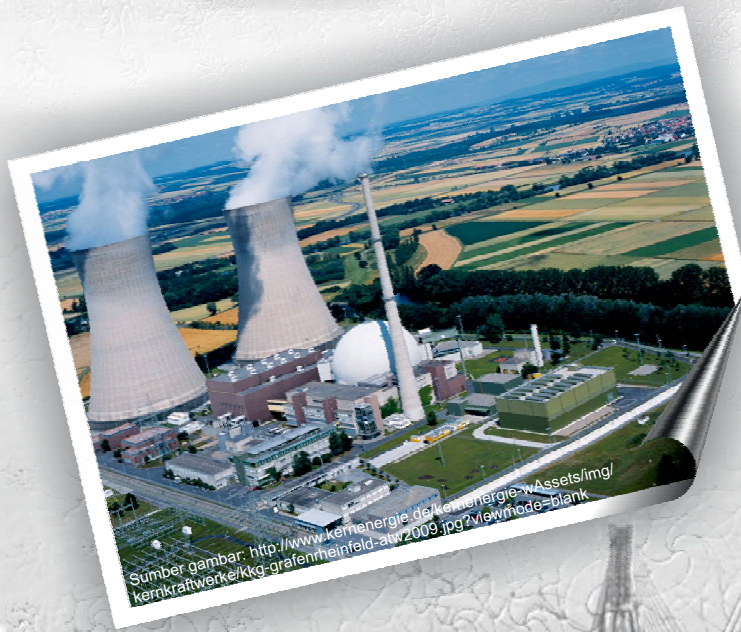




PROSIDING SENTEN 2016

Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir



Batam, 4-5 Agustus 2016

**“PERAN ENERGI NUKLIR
DALAM PENGEMBANGAN INDUSTRI NASIONAL
DAN PENINGKATAN KAPASITAS SDM”**

Sumber gambar: <http://jadiberita.com/wp-content/uploads/2016/04/Barelang-Bridge.-696x426.jpg>

**PUSAT KAJIAN SISTEM ENERGI NUKLIR (PKSEN)
PUSAT TEKNOLOGI DAN KESELAMATAN REAKTOR NUKLIR (PTRN)
PUSAT TEKNOLOGI LIMBAH RADIOAKTIF (PTLR)
PUSAT TEKNOLOGI BAHAN GALIAN NUKLIR (PTBGN)
POLITEKNIK NEGERI BATAM**

BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

**PROSIDING
SEMINAR NASIONAL
TEKNOLOGI ENERGI NUKLIR 2016**

Batam, 4-5 Agustus 2016



BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir

Pusat Teknologi Limbah Nuklir

Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir

Politeknik Batam

2016

DEWAN EDITOR / PENILAI

KARYA TULIS ILMIAH :

KETUA :

Ir. Tagor Malem Sembiring (BATAN)

SEKRETARIS :

Drs. Sahala Maruli Lumban Raja (BATAN)

ANGGOTA :

Dr. Ir. Hendro Tjahjono (BATAN)

Dr. Roziq Himawan (BATAN)

Dra. M.B. Mike Susmikanti (BATAN)

Prof. Dr. June Mellawati, S.Si (BATAN)

Dra Heni Susiati, M.Si (BATAN)

Ir. Edwaren Liun (BATAN)

Ir. Erlan Dewita, M.Eng (BATAN)

Nuryanti, M.T. (BATAN)

Dr. Ir Budi Setiawan, M.Eng. (BATAN)

Ir. Aisyah, M.T. (BATAN)

Kuat Heriyanto, S.T. (BATAN)

Drs. M. Najib (BATAN)

Ngadenin, S.T. (BATAN)

Didi Istardi, M.Sc. (Poltek Negeri Batam)

Dr. Budi Sugandi (Poltek Negeri Batam)

Asdani Suhaemi, M.Sc. (Poltek Negeri Batam)

Dr. Sihana (UGM)

SAMBUTAN KEPALA BATAN

Bismillahirrahmanirrohiim,

Yth Para Pembicara Kunci,

Yth Para Undangan dan Peserta Seminar

Assalamualaikum Wr. Wb. Selamat pagi dan salam sejahtera bagi kita semua.

Mendengar laporan dari Ketua Panitia SENTEN 2016, bahwa terlihat peserta masih didominasi oleh peserta dari Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yang separoh lebih. Ini bisa dimengerti karena memang teknologi nuklir, terutama terkait implementasinya di bidang energi, BATAN merupakan pelaksana kegiatan penelitian yang utama. Namun demikian, diharapkan bahwa dengan sebaran jumlah peserta ini ke depan diharapkan akan lebih baik dengan terus menerus dilakukan sosialisasi. Kerjasama pelaksanaan seminar dengan Perguruan Tinggi dan Lembaga terkait di berbagai wilayah di Indonesia, akan mendorong kegiatan penelitian di bidang nuklir lebih berkembang dan lebih banyak diminati.

BATAN dalam melaksanakan SENTEN 2016 ini, bekerja sama dengan Politeknik Negeri Batam. Seminar ini merupakan salah satu upaya untuk menyosialisasikan teknologi nuklir dan karya ilmiah BATAN maupun pihak-pihak terkait. Seminar SENTEN ini merupakan pertemuan ilmiah tahunan yang pada tahun 2016 ini merupakan seminar ke – 3 dengan mengambil tema “Peran Energi Nuklir dalam Pengembangan Industri Nasional dan Peningkatan Kapasitas SDM”.

Seminar ilmiah nasional ini merupakan salah satu sarana untuk membangun penguatan teknologi dari aspek SDM dan pengembangan industrinya dan bertujuan untuk menginformasikan berbagai hasil kajian/litbang teknologi nuklir dan iptek pendukungnya, serta memfasilitasi para peneliti, praktisi, akademisi dan pemerhati serta pemangku kepentingan untuk bertukar informasi terkait pengembangan teknologi energi nuklir dalam menjawab tantangan pengembangan industri nasional dan peningkatan kapasitas Sumber Daya Manusia (SDM).

BATAN juga telah bekerja sama dengan BP BATAM beberapa tahun terakhir, yakni pada pelaksanaan studi menentukan tapak potensial untuk PLTN. Studi tapak ini merupakan tahap studi pra-kelayakan yang dilakukan atas permintaan BP BATAM untuk mempersiapkan penyediaan infrastruktur listrik bagi pengembangan industri di wilayah Batam. Namun secara nasional kegiatan pengembangan pemanfaatan energi nuklir, dalam tahun ini masih merupakan kegiatan sosialisasi, mengenalkan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) terkait lokasi, keselamatan, termasuk resiko yang mungkin terjadi.

Demikian sambutan singkat saya, Selamat Mengikuti Seminar, semoga memberikan hasil yang bermanfaat bagi masyarakat dan bagi kalangan peneliti, serta dapat mengembangkan pemanfaatan teknologi dan energi nuklir lebih luas.

Wassalamu’alaikum warohmatullahi wabarokatuh.

Batam, 4 Agustus 2016

Prof. Dr. Djarot Sulistio Wisnubroto

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas petunjuk dan karunia-Nya sehingga Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir (SENTEN) – 2016 dengan tema “*Peran Energi Nuklir Dalam Pengembangan Industri Nasional dan Peningkatan Kapasitas SDM*” dapat diterbitkan. Prosiding ini merupakan dokumentasi karya ilmiah para peneliti dari berbagai disiplin ilmu yang berkaitan dengan teknologi dan energi nuklir dalam menopang industri nasional. Seminar SENTEN-2016 telah dipresentasikan pada tanggal 04-05 Agustus 2016 di Kampus Politeknik Negeri Batam, Jl. Ahmad Yani BATAM. Kegiatan pertemuan ilmiah ini merupakan kegiatan tahunan yang ke III dari Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) dan Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN) BATAN berkerjasama dengan Politeknik Negeri BATAM untuk mengetahui aktivitas dan hasil penelitian yang telah dicapai oleh para peneliti di bidang energi dan teknologi nuklir.

Panitia telah menerima sebanyak 132 makalah teknis, dan setelah melalui seleksi dan evaluasi dari Dewan Editor, diputuskan bahwa sebanyak 127 makalah dapat disajikan dalam prosiding ini. Distribusi makalah yang diterima berasal dari BATAN, Politeknik Negeri BATAM, Universitas BATAM, UGM, BAPETEN dan WANTANAS.

Semoga penerbitan prosiding ini dapat bermanfaat sebagai bahan referensi untuk lebih memacu dan mengembangkan penelitian yang akan datang. Kepada semua pihak, khususnya Tim Prosiding yang telah bekerja keras untuk penerbitan prosiding ini, kami sampaikan terima kasih.

Jakarta, 07 Desember 2016

Dewan Editor



KEPUTUSAN

KEPALA BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

NOMOR: 150/KA/V/2016

TENTANG

PENYELENGGARAAN SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI ENERGI NUKLIR 2016
DAN PEMBENTUKAN PANITIA

KEPALA BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL,

- Menimbang:
- a. bahwa dalam rangka meningkatkan pengetahuan mengenai teknologi dan keselamatan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir serta fasilitas nuklir guna memasyarakatkan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang reaktor daya, maka perlu menyelenggarakan Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016;
 - b. bahwa untuk ketertiban dan kelancaran penyelenggaraan Seminar sebagaimana dimaksud pada huruf a, maka perlu dibentuk Panitia;

- Mengingat :
1. Peraturan Presiden Nomor 46 Tahun 2013 tentang Badan Tenaga Nuklir Nasional (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2013 Nomor 113);
 2. Keputusan Presiden Nomor 72/M Tahun 2012;
 3. Peraturan Kepala BATAN Nomor 14 Tahun 2013 tentang Organisasi dan Tata Kerja Badan Tenaga Nuklir Nasional sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Kepala BATAN Nomor 16 Tahun 2014;

MEMUTUSKAN:

Menetapkan : KEPUTUSAN KEPALA BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL TENTANG PENYELENGGARAAN SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI ENERGI NUKLIR 2016 DAN PEMBENTUKAN PANITIA.



- 2 -

- KESATU : Menyelenggarakan Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016 yang selanjutnya dalam Keputusan ini disebut Seminar, pada tanggal 4 - 5 Agustus 2016, bertempat di Kampus Politeknik Negeri Batam.
- KEDUA : Membentuk Panitia Penyelenggara Seminar yang selanjutnya dalam Keputusan ini disebut Panitia, dengan susunan seperti tersebut dalam Lampiran Keputusan ini.
- KETIGA : Segala biaya yang diperlukan untuk penyelenggaraan Seminar dibebankan pada:
- a. DIPA Satuan Kerja Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir Tahun Anggaran 2016, Nomor: SP DIPA-080.01.1.535368/2016, tanggal 7 Desember 2015, Kode Kegiatan 3438; dan
 - b. DIPA Satuan Kerja Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir Tahun Anggaran 2016, Nomor: SP DIPA-080.01.1.450310/2016, tanggal 7 Desember 2015, Kode Kegiatan 3450.
- KEEMPAT : Panitia wajib memberikan laporan mengenai penyelenggaraan Seminar dan pertanggungjawaban keuangan kepada Kepala BATAN selambat-lambatnya 1 (satu) bulan setelah Seminar berakhir.
- KELIMA : Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 20 Mei 2016

Salinan sesuai dengan aslinya,
KEPALA BIRO SUMBER DAYA
MANUSIA DAN ORGANISASI,



KEPALA BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL,

-ttt-

DJAROT SULISTIO WISNUBROTO



LAMPIRAN

KEPUTUSAN KEPALA BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

NOMOR : 150/KA/V/2016

TANGGAL : 20 MEI 2016

SUSUNAN PANITIA PENYELENGGARA SEMINAR NASIONAL
TEKNOLOGI ENERGI NUKLIR 2016

I. Pelindung	: Prof. Dr. Djarot Sulistio Wisnubroto	-BATAN
II. Pengarah	: 1. Deputi Bidang Teknologi Energi Nuklir 2. Kepala Badan Pengusahaan Batam 3. Direktur Politeknik Negeri Batam	-BATAN -BP Batam -Poltek Negeri Batam
III. Penanggung Jawab	: 1. Dr. Geni Rina Sunaryo, M.Sc 2. Yarianto Sugeng Budi Susilo, M.Si 3. Ir. Suryantoro, M.Si. 4. Ir. Agus Sumaryanto, M.S.M. 5. Dr. Suparman	-BATAN -BATAN -BATAN -BATAN -BATAN
IV. Penyelenggara	:	
Ketua Umum	: Ir. Sriyana, M.T.	-BATAN
Wakil Ketua	: 1. Dr. R. Mohammad Subekti 2. Mudjiono, S.Si.	-BATAN -BATAN
Sekretaris	: 1. Rr. Arum Puni Rijanti S., S.T., M.T. 2. Nursinta Adi Wahanani, M.Kom.	-BATAN -BATAN
Bendahara	: 1. Endang Retnowati 2. Ni Nyoman Wirathi	-BATAN -BATAN



- 2 -

Seksi-seksi :

a. Acara dan Persidangan:

1. Elok Satiti Amitayani, S.Si., M.T. - BATAN
2. Dedy Priambodo, M.T. - BATAN
3. Dr. Mulya Juarsa - BATAN
4. Dewi Aprilianingrum - Poltek Negeri Batam

b. Humas, Perizinan dan Informasi (*Website*):

1. Dimas Irawan, S.Si - BATAN
2. Eddy Syah Putra, S.T. - BATAN

c. Prosiding dan Distribusi *Reviewer*:

1. Wiku Lulus Widodo, M.Eng. - BATAN
2. Arief Tris Yuliyanto, M.T. - BATAN
3. Ir. Suwoto - BATAN

d. Perlengkapan dan Dokumentasi:

1. Kusnaedi Manguto Puasora - BATAN
2. Agus Nur Rachman, S.ST. - BATAN
3. Fuliza Lubis - Poltek Negeri Batam

e. Konsumsi:

1. Meity Purwantini - BATAN
2. Tira Juliana - Poltek Negeri Batam
3. Sudarti - BATAN

f. Umum dan Transportasi:

1. Imam Hamzah - BATAN
2. Dian Koliana Kamal - BATAN

g. Protokoler:

1. Helmi Setiawan, S.Sos - BATAN
2. Rachma Utari D. - Poltek Negeri Batam



- 2 -

Seksi-seksi :

- a. Acara dan Persidangan:
 1. Elok Satiti Amitayani, S.Si., M.T. - BATAN
 2. Dedy Priambodo, M.T. - BATAN
 3. Dr. Mulya Juarsa - BATAN
 4. Dewi Aprilianingrum - Poltek Negeri Batam
- b. Humas, Perizinan dan Informasi (*Website*):
 1. Dimas Irawan, S.Si - BATAN
 2. Eddy Syah Putra, S.T. - BATAN
- c. Prosiding dan Distribusi *Reviewer*:
 1. Wiku Lulus Widodo, M.Eng. - BATAN
 2. Arief Tris Yuliyanto, M.T. - BATAN
 3. Ir. Suwoto - BATAN
- d. Perlengkapan dan Dokumentasi:
 1. Kusnaedi Manguto Puasora - BATAN
 2. Agus Nur Rachman, S.ST. - BATAN
 3. Fuliza Lubis - Poltek Negeri Batam
- e. Konsumsi:
 1. Meity Purwantini - BATAN
 2. Tira Juliana - Poltek Negeri Batam
 3. Sudarti - BATAN
- f. Umum dan Transportasi:
 1. Imam Hamzah - BATAN
 2. Dian Koliana Kamal - BATAN
- g. Protokoler:
 1. Helmi Setiawan, S.Sos - BATAN
 2. Rachma Utari D. - Poltek Negeri Batam

DAFTAR ISI

Dewan Editor	ii
Sambutan Kepala Batan	iii
Kata Pengantar	iv
SK Kepala Batan	v
Daftar Isi	x

Kelompok A : Kebijakan, Perencanaan dan Aplikasi Sistem Energi Nuklir

1. ANALISIS KUALITAS SAMPEL LAS GTAW DENGAN METODA NDT	1
<i>Mudi Haryanto, S. Nitiswati, Andryansyah</i>	
2. VALIDASI DIFFERENTIAL PRESSURE TRANSDUCERS DENGAN METODE BEDA KETINGGIAN AIR PADA UNTAI UJI FASSIP	9
<i>G. Bambang Heru Nursinta Adi Wahanani, Mulya Juarsa</i>	
3. PERAN ENERGI NUKLIR SEBAGAI PENGGANTI PEMBANGKIT LISTRIK NEGARA DALAM PENGELOLAAN LIMBAH RUMAH SAKIT DAN PROSES PENSTERILAN ALAT	17
<i>Derry Trisna Wahyuni S, Arum Dwi Anjani, Devy Lestari Nurul Aulia</i>	
4. PEMELIHARAAN FASILITAS ENERGI TERBARUKAN : MONITORING PENSTOCK COATING PLTA JAWA BARAT	25
<i>Gunawan Refiadi, Aris Tino, Gudnandar Dirgapermana</i>	
5. POTENSI SMR GUNA PENGEMBANGAN INDUSTRI MARITIM WILAYAH INDONESIA BAGIAN TIMUR DALAM RANGKA KETAHANAN NASIONAL	33
<i>Hendri F. Windarto, M. Munir</i>	
6. STRATEGI PENINGKATAN PARTISIPASI INDUSTRI NASIONAL DAN ALIH TEKNOLOGI UNTUK RDE	41
<i>Dharu Dewi Arum Puni Rijanti, dan Suparman</i>	
7. PERSEPSI MAHASISWA JURUSAN TEKNIK MESIN POLITEKNIK NEGERI BATAM TERHADAP PEMANFAATAN ENERGI NUKLIR	49
<i>Nurul Laili Arifin, Muhammad Hasan Albana</i>	
8. PERAN ENERGI NUKLIR DALAM PENGEMBANGAN ENERGI LISTRIK DI KOTA BATAM	57
<i>Sri Langgeng Ratnasari, Veronika, Gandhi Sutjahjo</i>	
9. EFISIENSI DETEKTOR HPGE UNTUK SAMPEL AIR DALAM VARIASI VOLUME MARINELLI	65
<i>Putu Sukmabuana, Rasito Tursinah</i>	

10. EVALUASIKINERJA SISTEM AKUISISI DATA NI-9213 MELALUI KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN TEMPERATUR	73
<i>Agus Nur Rachman, Mulya Juarsa</i>	
11. PERHITUNGAN KEKUATAN LASAN PADA PENYANGGA TANGKI PENDINGIN DAN TANGKI PEMANAS DIUNTAI FASSIP-01	81
<i>Joko Prasetio W, Edi Marzuki</i>	
12. STUDY ON ROLE OF NUCLEAR HYDROGEN COGENERATION FOR CO2CONVERSION IN PETROCHEMICAL INDUSTRY	89
<i>Djati H Salimy, Ign. Djoko Irianto</i>	
13. DATABASE SYSTEM DEVELOPMENT FOR COMPONENT RELIABILITY OF RSG-GAS BASED ON WEB	97
<i>Mike Susmikanti, Aep Catur, Deswandri</i>	
14. TRAFFIC PATTERN CONSTRUCTION BASED ON STATISTICAL APPROACH FOR INTRUSION DETECTION SYSTEM	105
<i>A. A. Waskita</i>	
15. KARAKTERISASI ARUS TEMBUS KABEL PENGHANTAR PEMANAS PADA UNTAI FASSIP-01	113
<i>Edy Sumarno, Sudarno, Mulya Juarsa</i>	
16. EFFICIENCY COMPARISON OF METHOD OF HANDLING MISSING VALUEIN DATA EVALUATION SYSTEM OR COMPONENT	121
<i>Entin Hartini</i>	
17. APLIKASI UNITED NATION FRAMEWORK CLASSIFICATION (UNFC) DI INDONESIA: STUDI KASUS SEKTOR LEMAJUNG, KALAN, KALIMANTAN BARAT	129
<i>Nunik Madyaningarum, Heri Syaeful, Agus Sumaryanto</i>	
18. KAJIAN RISIKO PROYEK PEMBANGUNAN REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL (RDE)	137
<i>Sahala Maruli Lumbanraja, Edwaren Liun, Rr. Arum Puni Rijanti</i>	
19. PERTANGGUNGJAWABAN KERUGIAN NUKLIR UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR DI INDONESIA	145
<i>Nurlaila, Elok S. Amitayani, June Mellawati</i>	
20. RENCANA PROGRAM PROTEKSI FISIK REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL	153
<i>Mudjiono, Erlan Dewita, Yaziz Hasan</i>	

21. ENERGI NUKLIR SEBAGAI OPSI PASOKAN ENERGI DI INDONESIA	161
<i>Rizki Firmansyah Setya Budi, Wiku Lulus Widodo</i>	
22. PERBANDINGAN BIAYA PEMBANGKITAN ENERGI LISTRIK SISTEM KALIMANTAN BARAT ANTARA OPSI NUKLIR DENGAN TANPA NUKLIR	169
<i>Wiku Lulus Widodo, Rizki Firmansyah Setya Budi</i>	
23. PEMODELAN PASOKAN ENERGI SISTEM KELISTRIKAN BARELANG DENGAN OPSI NUKLIR	177
<i>Elok S. Amitayani, Suparman, Wiku Lulus Widodo, Binsar O. Tambunan, Wulung Dahana</i>	
24. PERAN STRATEGIS PULAU BATAM DI BIDANG ENERGI DI KAWASAN REGIONAL ASIA TENGGARA	185
<i>Edwaren Liun, Sahala M. Lumban Raja</i>	
Kelompok B : Teknologi Bahan	
25. PEMBUATAN DAN PREDIKSI BENTUK SENYAWA KONSENTRAT CERIUM DARI MONASIT	193
<i>MV Purwani, Suyanti</i>	
26. PEMISAHAN UNSUR RADIOAKTIF DAN LOGAM TANAH JARANG DALAM TERAK TIMAH DENGAN FUSI ALKALI DAN PELINDIAN ASAM	201
<i>Mutia Anggraini, Irmina Kris Murwani</i>	
27. PERFORMANCE OF ZrNbMoGe ALLOY FOR NUCLEAR REACTOR STRUCTURE MATERIALS	209
<i>A.H. Ismoyo, Parikin</i>	
28. PENGARUH PANAS LAS PADA STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN BAHAN STRUKTUR REAKTOR PLAT BAJA 57%Fe15%Cr25%Ni	217
<i>Parikin, Sumaryo, A.H. Ismoyo, A. Dimiyati</i>	
29. PENGUJIAN SAMBUNGAN LAS TABUNG GAS LPG 3 KG DENGAN LARUTAN PENETRAN DAN ARUS EDDY	225
<i>Zaenal Abidin, Rian Komara, Djoko Marjanto</i>	
30. GEOLOGI DAN KETERDAPATAN ZIRKON, MONASIT PADA ENDAPAN SEDIMEN DAN ALUVIAL DI DAERAH KATINGAN KALIMANTAN TENGAH	233
<i>Bambang Soetopo</i>	

31. STUDI KETERDAPATAN URANIUM DAN THORIUM DI PULAU BELITUNG	241
<i>Andhika Janura Karunianto, Ngadenin, Bambang Soetopo</i>	
32. PENGARUH MEDIA PEMBATAS YANG BERBEDA PADA WELD X-RAY VIEWER MACHINE TERHADAP INTENSITAS CAHAYA DAN TEMPERATUR	249
<i>Cahyo Budi Nugroho</i>	
33. EKSTRAKSI-STRIPPING Y, Dy, Gd, Ce, La, Nd DARI HASIL OLAH PASIR SENOTIM	257
<i>Dwi Biyantoro, Tri Handini, Moch Setyadji</i>	
34. PENGENDAPAN LOGAM BERAT PADA LIMBAH PENGOLAHAN MONASIT DENGAN MENGGUNAKAN ASAM SULFAT ATAU ASAM KHLORIDA	265
<i>Titi Wismawati, Roza Indra Laksmna, Dany Poltak Marisi, Andung Nugroho, Sri Widarti</i>	
35. PEMBUATAN KONSENTRAT NEODIMIUM DARI LOGAM TANAH JARANG HIDROKSIDA (REOH) MELALUI DIJESTI ULANG	273
<i>Suyantidan MV Purwani</i>	
36. PEMBUATAN Y OKSIDA MELALUI PROSESPENGENDAPAN DAN KALSINASI	281
<i>Tri Handini, Bambang EHB, Sri Sukmajaya, Dwi Biyantoro</i>	
37. KARAKTERISASI ZIRCON OPACIFIER HASIL OLAH PASIR ZIRKON KALIMANTAN	289
<i>Sajima, Moch. Setyadji, Erlin Purwita Sari</i>	
38. ANALISIS STRUKTUR MIKRO BAJA SA516Gr70 AKIBAT REGANGAN TARIK DAN MULUR	297
<i>Andryansyah, Sri Nitiswati, Mudi Haryanto, Darlis</i>	
39. ANALYSIS ON THE STRESS EFFECT OF SUS 316 CREEP DAMAGE PARAMETER	305
<i>S. Nitiswati, R. Himawan, A. Mardhi</i>	
40. ANALISIS KEKUATAN MEKANIK STRUKTUR UNTAI UJI TERMOHIDROLIKA REAKTOR MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK UJI STRUKTUR	313
<i>Dedy Haryanto, Mulya Juarsa, Sagino</i>	
41. ANALYSIS OF AlMg3 MATERIAL CORROSION AS RSG-GASBEAM TUBE	321
<i>Febrianto, Elfrida Saragi, Abdul Hafid, Sriyono, Dyah Erlina Lestari</i>	

-
- 42. POLIMERISASI PATI-POLIVINYL ALKOHOL-AKRILAMIDA-OLIGO KITOSAN SEBAGAI BAHAN PELAPIS LEPAS LAMBAT UNTUK PUPUK NPK DENGAN TEKNIK IRADIASI** 329
 Gatot Trimulyadi Rekso, Saefumillah, A. Rabriella, N.
- 43. PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT POLIMER UHMWPE DENGAN FILLER Na₂B₄O₇.5H₂O SEBAGAI PERISAI RADIASI NEUTRON TERMAL** 337
 Mardiyanto, Abu K. R, Sulistioso G. S, Istanto, Fakhurroji, Juliyani, Winda S. B, Enny Z, Dian F, dan Elvaswer
- 44. SINTESIS PADUAN MIKRO BAJA ODS Fe-15Cr- 0.5Y₂O₃ MENGGUNAKAN IRADIASI ULTRASONIK** 345
 Marzuki Silalahi, Hanif Abdurrahman Wicaksana, Bambang Sugeng, Arbi Dimiyati, Bambang Suharno

Kelompok C : Teknologi Keselamatan Reaktor

- 45. ANALISIS KONVEKSI PAKSA PADA TERAS REAKTOR TRIGA BANDUNG BERELEMEN BAKAR TIPE PELAT MENGGUNAKAN COOLOD-N₂** 353
 Sudjatmi K.A., Endiah Puji Hastuti, Surip Widodo, Reinaldy Nazar
- 46. ANALYSES OF ENERGY CONVERSION SYSTEM FOR NUCLEAR REACTOR CONCEPT WITH 2.9 MW ELECTRICITY POWER** 361
 Sri Sudadiyo
- 47. THE ISSUES OF PLC AND FPGA IMPLEMENTATION IN NUCLEAR POWER PLANTS** 369
 Syaiful Bakhri
- 48. DEVELOPMENT OF ACOUSTIC CONDITION MONITORING FOR PUMP PREDICTIVE MAINTENANCE** 377
 Sudarno, Anik Purwaningsih, Edy Sumarno
- 49. COMPARISON STUDY ON MODELS OF CREEP STRAIN FOR GRAPHITE MATERIAL AT HTGR** 385
 Roziq Himawan, Sri Sudadiyo, Elfrida saragi
- 50. ANALYSIS ON HUMAN ERROR PROBABILITY IN A REACTOR ACCIDENT SCENARIO BASED ON SPAR-H METHOD** 393
 S. Santoso

51. ANALYSIS ON THE ADEQUACY LEVEL OF DEFENCE IN DEPTH FOR THE MODULAR HTGR	401
<i>D.T. Sony Tjahyani, Julwan Hendry Purba</i>	
52. HUMAN RELIABILITY ANALYSIS IN NUCLEAR POWER PLANTS	409
<i>Julwan Hendry Purba, D.T. Sony Tjahyani</i>	
53. DESAIN KONSEPTUAL SISTEM KENDALI TEMPERATUR DAN LAJU ALIR UNTUK MENDUKUNG DOKUMEN URD HTGR	417
<i>Khairul Handono, Agus Cahyono, Kristedjo Kurnianto</i>	
54. KARAKTERISASI PRE-COOLER SEBAGAI SISTEM HEAT SINK PADA UNTAI FASSIP-01	425
<i>Giarno, G.B. Heru K, Joko Prasetio Witoko, Mulya Juarsa</i>	
55. SIMULATION ON THERMODYNAMICS CHARACTERISTICS OF RGTT200K DESIGN USING FLOWNEX SOFTWARE	433
<i>Kiswanta, Sumijanto</i>	
56. ANALYSIS AGING RSG-GAS REACTOR PROTECTION SYSTEM USING DRIFT SIGNAL CHARACTERIZATION	441
<i>Kussigit Santosa, Sudarno, Agus Nur Rahman</i>	
57. DETERMINATION OF THE MOLECULAR STRUCTURES AND CHEMICAL COMPOSITION OF CORROSION INHIBITOR USING FTIR AND GCMS.	449
<i>Rahayu Kusumastuti, Sriyono, Geni Rina Sunaryo, Diah Erlina Lestari</i>	
58. THERMAL DISTRIBUTION ANALYSIS IN PRESSURE VESSEL WALL OF PWR	457
<i>E. Saragi, R. Himawan, P.W. Kedoh</i>	
59. INVESTIGATION OF IRON TOTAL CROSS-SECTIONS IN HIGH ENERGY THROUGH BROOMSTICK CALCULATION FOR NEW VERSION EVALUATED NUCLEAR DATA FILES	465
<i>Suwoto, Hery Adrial, Zuhair</i>	
60. DIGITALISASI SISTEM PENGUKURAN FLUKS NEUTRON REAKTOR RSG-GAS BERBASIS LABVIEW	473
<i>Agus Nur Rachman, Muhammad Subekti, Kussigit Santosa, Ranji Gusman</i>	
61. ANALYSIS OF IMPORTANCE MEASURES FOR DIGITAL INSTRUMENTATION AND CONTROL SYSTEM OF NUCLEAR REACTORS	481
<i>Deswandri</i>	

62. CALCULATION OF O₂ CONCENTRATIONS FORMED FROM THE RADIOLYSIS OF PWR COOLANT BY-RAYS, FAST NEUTRONS AND TRITIUM-PARTICLES	489
<i>Sofia Loren Butarbutar, Geni Rina Sunaryo, Rahayu Kusumastuti</i>	
63. DEVELOPMENT OF COMPUTING CIRCUIT FOR DETECTING UNBALANCED LOAD OF RSG-GAS REACTOR PROTECTION SYSTEM WITH LabVIEW	497
<i>Anik Purwaningsih, Agus N. Rachman, Syaiful Bakhri, Ranji G, Heri S</i>	
64. FISSION PRODUCTS INVENTORY ANALYSIS OF HTGR FUEL BY USING ORIGEN2.1 COMPUTER CODE	505
<i>Ihda Husnayani, Sri Kuntjoro, Pande Made Udiyani</i>	
65. CONCEPTUAL DEVELOPMENT ON THE RADIATION PROTECTION DESIGN BASES FOR EXPERIMENTAL POWER REACTOR	513
<i>Sigit Asmara Santa, Pande Made Udiyani</i>	
66. PRELIMINARY ANALYSIS OF THE UNBALANCED LOAD DETECTION SYSTEM IN THE RSG-GAS REACTOR	521
<i>Tagor Malem Sembiring, Kristedjo Kurnianto, Mochamad Imro, Abdul Azis Rohman Hakim</i>	
67. DOSES ANALYSIS OF A HYPOTHETICAL LOCA ACCIDENT IN NUCLEAR POWER PLANT (NPPs) SITTING	529
<i>P.M. Udiyani, S. Kuntjoro, and I. Husnayani</i>	
68. PERFORMANCE INVESTIGATION OF PASSIVE RESIDUAL HEAT REMOVAL SYSTEM IN HIGH TEMPERATURE REACTOR	537
<i>Hendro Tjahjono, Surip Widodo, Andi Sofrany Ekariansyah</i>	
69. ANALYSIS ON THERMAL CHARACTERICTIC OF HEATER IN LOOP FASSIP-01 EXPERIMENTAL FACILITY	545
<i>Sukmanto Dibyo, Mulya Juarsa, Ign Djoko Irianto</i>	
70. CHARACTERISTIC OF CONTROL RODS REACTIVITY WORTH OF THE AP 1000 CORE	553
<i>Tukiran S, Tagor MS, Surian P.</i>	
71. THERMAL-HYDRAULIC PERFORMANCE OF HIGH POWER RESEARCH REACTOR CORE DESIGN AS A FUNCTION OF URANIUM FUEL DENSITY	561
<i>Endiah Puji Hastuti, Lily Suparlina, Supardjo</i>	
72. ANALYSIS ON NEUTRONIC PARAMETERS OF THE AP1000 REACTOR CORE	569
<i>Surian Pinem, Tukiran Surbakti</i>	

73. PRELIMINARY STUDY ON LOSS OF FORCED CIRCULATION ACCIDENT OF 10 MW PEBBLE BED MODULAR REACTOR	577
<i>Jupiter Sitorus Pane</i>	
74. MODELLING ON THE ATLAS TEST FACILITY FOR BEST-ESTIMATE SIMULATION OF LOSS OF COOLANT ACCIDENT	585
<i>Andi Sofrany Ekariansyah, Surip Widodo, Hendro Tjahjono</i>	
75. GAMMA SOURCE STRENGTH ANALYSIS DURING POSTULATED ACCIDENTS CONDITION IN PWR 1000 MWe	593
<i>Anis Rohanda</i>	
76. ANALYSIS OF DOSE RATES DISTRIBUTION IN TRIGA-PELAT REACTOR	601
<i>A. Hamzah</i>	
77. CANONICAL CORRELATION ANALYSIS ON ATTRIBUTES OF NUCLEAR INSTALLATION SAFETY CULTURE	609
<i>Johnny Situmorang, Imam Kuntoro, Sigit Santosa</i>	
78. SURVEILLANCE CORROSION FOR INTERIM STORAGE	617
<i>Geni Rina Sunaryo, Sriyono</i>	
79. ANALYSIS OF THE NUMBER OF MINIMUM TUBE FOR OPTIMAL OPERATION IN A HEAT EXCHANGER RSG G.A. SIWABESSY	625
<i>Abdul Hafid, Marliyadi Pancoko, Santosa Pujiarta</i>	
80. FUEL SHELL OXIDATION RATE ESTIMATION DURING STATION BLACK OUT ACCIDENT IN RGTT200K	633
<i>Sumijanto, Kusigit Santosa, Kiswanta</i>	
81. ANALYSIS OF TOPAZ IRRADIATION EFFECT TO THE EXISTING OF COBALT-60 IN THE RSG GAS PRIMARY COOLANT	641
<i>Sriyono, Rahayu K, Abdul Hafid, Geni Rina Sunaryo</i>	
82. RADIONUCLIDE INVENTORY ANALYSIS OF THE SMR SMART 330 MWT REACTOR	649
<i>Sri Kuntjoro</i>	
83. STUDY ON SINGLE PHASE NATURAL CIRCULATION COOLING CHARACTERISTIC IN PASSIF-01 FACILITY USING RELAP5	657
<i>Susyadi, Surip Widodo, Mulya Juarsa</i>	
84. IMPROVEMENT OF OPERATION OF THE RSG-GAS REACTOR FOR ITS SECOND LIFE TIME	665
<i>Iman Kuntoro</i>	

85. PASSIVE SYSTEM SIMULATION FACILITY (FASSIP) LOOP FOR NATURAL CIRCULATION STUDY	673
<i>Mulya Juarsa , Giarno, G.B. Heru K., Dedy Haryanto, Joko Prasetyo</i>	
86. AP1000 PARTIAL AND COMPLETE LOSS OF FLOW ACCIDENT ANALYSIS USING RELAP5	681
<i>Surip Widodo, Andi Sofrany Ekariansyah</i>	
 Kelompok D : Proteksi Reaktor dan lingkungan	
87. THE DEMONSTRATION OF COMPUTER-BASED ANALYTICAL TOOL FOR EVALUATING PHYSICAL PROTECTION SYSTEM EFFECTIVENESS	689
<i>Alim Mardhi, JulwanPurba</i>	
88. PERHITUNGAN KAPASITAS PENYIMPANAN SUMBER BEKAS IRIDIUM-192 DI PUSAT TEKNOLOGI LIMBAH RADIOAKTIF	697
<i>Husen Zamroni, Suryantoro, Irwan Santoso, Suparno, Suhartono, Miswanto, Nurul Efri Ekaningrum</i>	
89. KAJIAN DISPERSI RADIONUKLIDA DALAM HIDROSFERDARI SKENARIO KECELAKAAN REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL	705
<i>Sucipta, Dadang Suganda</i>	
90. PENYERAPAN ¹³⁴Cs DALAM AIR OLEH IKAN LELE (Clarias sp)	713
<i>Putu Sukmabuana</i>	
91. POWER PLANT EMISSIONS INVENTORY IN BATAM	721
<i>Dwi Kartikasari</i>	
92. POTENSI PENYEBARAN MATERIAL RADIONUKLIDA DARI FASILITAS RDE MENGGUNAKAN SOFTWARE SIMPACTS	729
<i>Sufiana Solihat, Wiku Lulus Widodo</i>	
93. PEMISAHAN DAN ANALISIS ISOTOP CESIUM DAN URANIUM DI DALAM PEB U3Si2-AI PASCA IRADIASI	737
<i>Arif Nugroho, Yanlinastuti, Sutri Indaryati, Iis Haryati</i>	
94. PERBANDINGAN ESTIMASI DOSIS INTERNAL ¹⁷⁷Lu-DOTA TRASTUZUMAB MANUSIA ASIA DAN CAUCASIAN BERDASARKAN UJI BIODISTRIBUSI PADA MENCIT	745
<i>Nur Fitri Romadoni, Nur Rahmah Hidayati, Wahyu Setiabudi</i>	

95. KARAKTERISTIK DETEKTOR SODIUM IODIDE DALAM PEMANFAATANNYA SEBAGAI SEGMENTED GAMMA SCANNER LIMBAH RADIOAKTIF	753
<i>Hendro, Mohamad Nur Yahya</i>	
96. STRATEGI PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL (RDE)	761
<i>Erlan Dewita, Siti Alimah, Husen Zamroni</i>	
 Kelompok E : Tapak dan Perizinan	
97. KECUKUPAN PROGRAM KONSTRUKSI GEDUNG & PEMBANGKIT LISTRIK TERHADAP PROGRAM KONSTRUKSI PEMBANGUNAN PLTN	769
<i>Arifin Muhammad</i>	
98. PENGEMBANGAN PENGATURAN ASPEK PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI DALAM DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR	777
<i>NanangTriagung Edi Hermawan</i>	
99. KAJIAN PROSES PERIZINAN TAPAK REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL (RDE) DI INDONESIA	785
<i>Moch. Djoko Birmano</i>	
100. INTERPRETASI ANOMALI GEOMAGNETIK DAERAH RABAU HULU, KALAN	793
<i>Dwi Haryanto, Adhika Junara Karunianto, Mirna Berliana Garwan</i>	
101. SEBARAN PENDUDUK DI PROVINSI KEPULAUAN RIAU : STUDI ASPEK DEMOGRAFI PRA-SURVEI TAPAK PLTN	801
<i>Siti Alimah, June Mellawati, Murdaningsih</i>	
102. ANALISIS KELAYAKAN FINANSIAL PROYEK PLTN SMR DI PULAU BATAM DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE FINPLAN	809
<i>Nuryantidan Elok Satiti Amitayani</i>	
103. KAJIAN AWAL KONDISI GEOLOGI KEPULAUAN BARELANG PADA KEGIATAN PRA SURVEI TAPAK PLTN	817
<i>June Mellawati, Heri Syaeful, F.Dian Indrastomo, Ratih Agustin Putri</i>	
104. PEMANTAUAN GEMPA MIKRO DI TAPAK RDE DAERAH SERPONG DAN SEKITARNYA	825
<i>Hadi Suntoko, Ajat Sudrajat, Sriyana</i>	

105. PENDEKATAN BERBASIS RISIKO DALAM DESAIN SEISMIK STRUKTUR SISTEM DAN KOMPONEN (SSK) INSTALASI NUKLIR	833
<i>Nur Siwhan, Arifin Muhammad Susanto</i>	
106. SISTEM MANAJEMEN DALAM PERSIAPAN PEMBANGUNAN REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL : TANTANGAN DAN PENINGKATAN	841
<i>A. Bayu Purnomo, Sriyana</i>	
107. ANALISIS KANDUNGAN TSS PERAIRAN LAUT DI TAPAK TERPILIH PLTN PESISIR BARAT KABUPATEN BANGKA SELATAN	849
<i>HeniSusiaty, Yarianto SBS.</i>	
 Kelompok F : Teknologi Reaktor	
108. HTGR EFFICIENCY IMPROVEMENT BY COGENERATION COUPLING WITH STEAM METHANE REFORMING HYDROGEN PRODUCTION PLANT	857
<i>Nurul Huda, Sumijanto, Ign. Djoko Irianto, Sriyono, M. Subekti</i>	
109. THERMODYNAMIC ANALYSIS ON RANKINE CYCLE STEAM FOR COGENERATION SYSTEMS RGTT200K	865
<i>Ign. Djoko Irianto, Sukmanto Diby, Djati H. Salimy, Jupiter S. Pane</i>	
110. THE EFFECT OF SEA SURFACE TEMPERATURE INCREASE ON THERMAL-HYDRAULICS DESIGN OF PWR1000 IN INDONESIA	873
<i>Muh. Darwis Isnaini</i>	
111. THE CONDENSOR MASS AND ENERGY BALANCE ANALYSIS TO OPTIMIZE CONDENSING PROCESS IN SECONDARY SYSTEM OF HTGR10K	881
<i>Piping Supriatna, Sriyono</i>	
112. OPTIMASI DESAIN TERAS HTGR 150 MWT DENGAN VARIASI GEOMETRI TERAS DAN PENGAYAAN URANIUM	889
<i>Ganjar Putro Indratoro dkk</i>	
113. STUDI AWAL OPTIMASI BURNUP HTR-PM 150 MWTH DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR U-TH	897
<i>Faisal Fuad Nursyahid, Topan Setiadipura, Alexander Agung</i>	
114. STUDY ON THE USE OF WALLPAPER-TYPE FUEL IN NEUTRONIC DESIGN OF SMALL PEBBLE BED REACTOR	905
<i>Zuhair, Suwoto, TopanSetiadipura, Putranto Ilham Yazid</i>	

115. APLIKASI KONDISI FLUIDA SUPERKRITIS PADA HTGR-10 MWth.	913
<i>Denissa Beauty Syahna, Dedy P, Erlan D., Ign Djoko Irianto</i>	
116. DFT STUDY OF CESIUM DEFECT IN SILICON CARBIDE LAYER TRISO PARTICLE	921
<i>D. Andiwijayakusuma, S. Ahmad, T. Setiadipura</i>	
117. STUDY ON FUEL MULTIPASS EFFECT ON CORE PERFORMANCE OF SMALL PEBBLE BED REACTOR	929
<i>TopanSetiadipura, Dwi Irwanto, Zuhair</i>	
118. NEUTRON FLUX DISTRIBUTION AND POWER GENERATED IN UO₂ IRRADIATION TARGET IN THE PRTF OF RSG GAS CORE	937
<i>J. Susilo and I. Kuntoro</i>	
119. COMPACT CORE DESIGN OPTIMIZATION BASED ON HIGH DENSITY SILICIDE FUEL PLATE TYPE	945
<i>Lily Suparlina</i>	
120. ANALYSIS OF THORIUM OXIDE UTILIZATION ON INITIAL CRITICAL CORE OF HIGH TEMPERATURE REACTOR	953
<i>Rokhmadi, Zuhair, Topan Setiadipura</i>	
121. THE CURRENT STATUS OF INDONESIA EXPERIMENTAL POWER REACTOR 10 MW (RDE)	961
<i>Taswanda Taryo</i>	
122. ANALYSIS ON FUEL INVENTORY OF HTGR 10 MWt PEBBLE BED BASE ON BURNUP LEVELS VARIATION USING MCNPX.	969
<i>Hery Adrial, Suwoto, Zuhair</i>	
123. EFFECTS OF HIGH DENSITY FUEL LOADING ON GAMMA HEATING GENERATION OF RRI-50	977
<i>Setiyanto dan Jupiter S. Pane</i>	
124. THE COMPARISON OF FUEL MODEL ARRANGEMENT ON COOLANT THERMAL ANALYSIS FOR INDONESIA EXPERIMENTAL POWER REACTOR DESIGN	985
<i>M. Subekti, Dibyo S., and M.A. Gofar</i>	
125. METODE PENGENDAPAN DAN PENUKAR KATION PADA PROSES PEMISAHAN CESIUM DALAM BAHAN BAKAR U₃Si₂-Al.	993
<i>Aslina B. Ginting, Yanlinastuti, Boybul, Arif Nugroho, Dian Anggraini, Rosika Kriswarini</i>	

-
- | | | |
|-------------|---|------|
| 126. | OPTIMASI PARAMETER PROSES ELEKTRODEPOSISI UNTUK
PENENTUAN ISOTOP²³⁵U DAN ²³⁹Pu DALAM PEB U₃Si₂/Al
PASCA IRADIASI | 1001 |
| | <i>Yanlinastuti, Boybul</i> | |
| 127. | HUBUNGAN POLIMORFISME GEN PSA 252 DENGAN
NILAI PSA PADA PASIEN DENGAN KELAINAN PROSTAT | 1009 |
| | <i>Wiwini Mailana</i> | |

Indeks Pemakalah

PERBANDINGAN ESTIMASI DOSIS INTERNAL ^{177}Lu -DOTA TRASTUZUMAB MANUSIA ASIA DAN CAUCASIAN BERDASARKAN UJI BIODISTRIBUSI PADA MENCIT

Nur Fitri Romadoni, Nur Rahmah Hidayati, Wahyu Setiabudi

ABSTRAK

PERBANDINGAN ESTIMASI DOSIS INTERNAL ^{177}Lu -DOTA TRASTUZUMAB MANUSIA ASIA DAN CAUCASIAN BERDASARKAN UJI BIODISTRIBUSI PADA MENCIT. Tingginya prevalensi penderita kanker di Indonesia menjadi salah satu motivasi berkembangnya produk-produk radiofarmaka baru yang dikembangkan BATAN untuk tujuan diagnosis dan terapi. Untuk menjamin keamanan produk radiofarmaka, perlu dilakukan estimasi dosis internal pada manusia melalui proses studi praklinis, fase I, fase II, dan fase III. Tulisan ini bertujuan untuk membandingkan estimasi dosis pada manusia Asia dan Caucasia berdasarkan data biodistribusi yang dilakukan pada hewan coba mencit (*Mus mucus*). Penelitian ini menggunakan 25 ekor mencit untuk uji biodistribusi radiofarmaka pada jam ke 1, 2, 3, 4, 24, dan 48 pasca injeksi $100 \mu\text{Ci}^{177}\text{Lu}$ -DOTA Trastuzumab. Hasil uji biodistribusi pada masing-masing organ (%ID/gram), kemudian dikonversikan ke %ID/gram organ manusia dengan menggunakan data anatomi *Asian Reference Man* dan *Standard Reference Man*. Untuk menghitung *residence time*, data %ID/gram organ manusia tersebut digunakan sebagai input pada *software* OLINDA/EXM dengan cara plotting kurva %ID/gram organ terhadap waktu dan diintegrasikan, sehingga diperoleh *Residence Time* sebagai dasar perhitungan dosis internal pada masing-masing organ yang terdapat pada menu perhitungan OLINDA/EXM yaitu dengan menggunakan metode MIRD. Hasil penelitian estimasi dosis radiasi internal kedua *reference models* menunjukkan estimasi dosis ^{177}Lu DOTA Trastuzumab pada manusia adalah hati, paru, dan usus manusia Asia dengan dosis masing-masing yaitu : 0.0489; 0.0432 dan 0.016 mSv/MBq, dan pada manusia Caucasia yaitu : 0.047; 0.031; dan 0.015 mSv/MBq. Dosis efektif pada manusia Asia 20% lebih tinggi daripada Caucasia masing-masing adalah 0.12 mSv/MBq dan 0.1 mSv/MBq.
Kata kunci: Dosis, internal, Biodistribusi, MIRD

ABSTRACT

THE COMPARISON OF THE ESTIMATION OF INTERNAL DOSIMETRY ^{177}Lu -DOTA TRASTUZUMAB ON ASIAN AND CAUCASIAN BASED ON BIODISTRIBUTION TEST ON MICE. The high prevalence of cancer patients in Indonesia has become a reason of new radiopharmaceutical products development which are made by BATAN for the purpose of diagnosis and therapy. To ensure the safety of radiopharmaceutical products, it is necessary to estimate the internal dosimetry to human through preclinical studies, phase I, phase II, and phase III. This paper aims to compare the estimated dose in Asian and Caucasian based on biodistribution data conducted to mice (*Mus mucus*). This study was conducted to 25 mice which are used for radiopharmaceutical biodistribution test in the hours of 1, 2, 3, 4, 24, and 48 after the injection of ^{177}Lu -DOTA Trastuzumab. The result of biodistribution test for each organ of mice gained (%ID/gram), and then is converted to %ID/gram in human by using anatomy data of *Asian Reference Man* and *Standard Reference Man*. To calculate the residence time, data %ID/gram in human organ is used as an input in OLINDA/EXM software by plotting curves data %ID/gram organ against time and then be calculated, so that Residence Time are obtained as the basis of internal dosimetry calculation of each organ which is exist in OLINDA/EXM calculation menu by using MIRD method. The estimation results of internal radiation dosimetry for both reference models show the dose estimation of ^{177}Lu -DOTA Trastuzumab Asian, which are liver, lungs, and intestines with are: 0.0489; 0.0432 and 0.016 mSv/MBq, and for Caucasian is : 0.047; 0.031; and 0.015 mSv/MBq. The effective dose for Asian is 20% higher than Caucasian are 0.12 mSv/MBq and 0.1 mSv/MBq.
Keyword: internal, dosimetry, biodistribution, MIRD

PENDAHULUAN

^{177}Lu -DOTA Trastuzumab adalah radiofarmaka baru yang dapat berinteraksi secara spesifik terhadap sel-sel kanker dengan reseptor *human epidermal growth factor receptor 2* (HER2) dan akan dimanfaatkan untuk pengobatan kanker payudara di Indonesia [1]. Menurut referensi [2] setiap radiofarmaka jenis baru yang akan dikembangkan untuk diagnostik maupun terapi, secara umum harus mengikuti proses pengkajian yang dibagi dalam 4 fase yaitu, fase praklinis, fase I, fase II, dan fase III. Dalam fase praklinis ini tidak melibatkan sistem biologi manusia melainkan menggunakan hewan coba yang bertujuan untuk aspek keselamatan dan efektifitas sebelum radiofarmaka tersebut dimasukkan ke dalam tubuh manusia. Tahap ini merupakan persyaratan yang wajib dilakukan dalam penelitian untuk menjamin keselamatan pemberian radiofarmaka sebelum dilakukan percobaan pada manusia.

Dalam studi dosimetri internal, radiofarmaka yang diinjeksikan kedalam tubuh akan terdistribusi ke organ dan jaringan yang menjadikan tubuh menjadi radioaktif karena memancarkan radioaktif. Karenadistribusi dosis dalam dosimetri internal tidak seragam, studi dosimetri internal ini lebih kompleks daripada dosimetri eksternal[3]. Distribusi aktivitas dalam organ atau jaringan yang tidak seragam dapat memberikan variasi yang besar dalam dosis serap pada sel yang berbeda atau wilayah organ, yang disebabkan oleh radionuklida yang memancarkan elektron energi rendah [4].Menghitung dosis serap merupakan hal yang penting untuk proteksi radiasi yaitu untuk memperkirakan risiko efek stokastik pada sebagian besar populasi pasien yang sedang menjalani jenis pemeriksaan yang sama [5].Estimasi dosis internal ditentukan melalui perhitungan, bukan pengukuran [6]. Untuk menghitung dosis serap radionuklida yang disimpan secara internal dalam tubuh manusia, diperlukan aspek yang sangat penting yaitu pengukuran biodistribusi radiofarmaka [7].

Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Nur Rahmah Hidayati dkk (2015), yang telah berhasil melakukan estimasi dosis manusia berdasar data uji biodistribusi pada hewan coba (mencit). Tetapi dalam penelitian tersebut dengan model standard refence man yang menggunakan data populasi manusia Caucasia [8]. Oleh karena itu, tulisan ini bertujuan untuk melakukan perbandingan estimasi dosis internal ^{177}Lu - DOTA Trastuzumab pada manusia Asia dan Caucasia yaitu dengan menggunakan *Asian Reference Man* dan *Standard Reference Man*.

TEORI

Perhitungan Dosis Serap

dosis serap merupakan besaran dalam dosimetri internal. Untuk mengestimasi dosis serap pada semua jaringan, harus ditentukan kuantitas dari masing-masing jaringan. Dosis serap didefinisikan sebagai jumlah energi dari ionisasi radiasi yang diserap per unit massa material dan dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut: [9,10]

$$D = \frac{d\epsilon}{dm} \quad (1)$$

Dimana : d : energi rata-rata yang diberikan oleh ionisasi radiasi
 dm : massa organ

Pada persamaan umum untuk dosis serap rata-rata pada sebuah objek yang terkontaminasi oleh radioaktif (contoh sebuah organ atau jaringan dengan uptake radiofarmaka) ditunjukkan sebagai berikut:

$$\dot{D}_T = \frac{kA_S \sum_i y_i E_i \phi_i}{m_T} \quad (2)$$

Dimana \dot{D}_T = dosis serap rata-rata

A_S = aktivitas dalam wilayah sumber S (MBq atau μCi)

y_i =jumlah radiasi dengan energi E_i yang dipancarkan per transisi nuklir

E_i = energi per radiasi (MeV)

ϕ_i = fraksi energi yang dipancarkan oleh wilayah sumber dan diserap dalam wilayah target

m_T = massa wilayah target (kg atau g)

k =konstanta (Gy·kg/MBq·sec·MeV atau rad·g/ μCi ·hr·MeV) [9,26].

Dosis serap rata-rata dalam berbagai jaringan berasal dari distribusi radionuklida dalam jaringan /organ penting. Nilai rata-rata yang dihitung dari %ID/g organ mencit yang telah dikonversikan untuk menentukan *uptake* orang dewasa 70 kg dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:[6]

$$\left(\frac{\%ID}{org}\right)_H = \left[\left(\frac{\%ID}{org}\right)_A \times (kg_{TB})_A\right] \times \left(\frac{g\ org}{kg_{TB}}\right)_H \quad (3)$$

Skema Medical Internal Radiation Dosimetry (MIRD)

Pendekatan MIRD untuk estimasi dosis serap yang diterima oleh jaringan atau organ akibat aktivitas yang terkandung didalam organ itu sendiri atau sumber organ lain dikenal pada tahun 1968 [6]. Pengukuran biodistribusi radiofarmaka merupakan aspek penting dalam menghitung dosis serap radionuklida yang tersimpan didalam tubuh manusia secara internal. Dalam skema MIRD ada tiga metode yang digunakan untuk menghitung estimasi dosis yaitu, metode akuisisi data atau pengumpulan data, analisis dan pengolahan data biodistribusi dari subjek manusia.

Persamaan dosis serap pada sebuah organ diberikan oleh sistem MIRD [6]

$$D_{r_k} = \sum_h \bar{A}_h S(r_k \leftarrow r_h) \quad (4)$$

Dimana : D adalah dosis serap,

\bar{A}_h adalah aktivitas kumulatif,

r_k adalah wilayah target dan

r_h adalah wilayah sumber.

$$S(r_k \leftarrow r_h) = \frac{k \sum_i y_i E_i \phi_i(r_k \leftarrow r_h)}{m_{r_k}} \quad (5)$$

Dimana : y_i = jumlah radiasi dengan energi E_i yang dipancarkan per transisi nuklir

E_i = energi per radiasi (MeV)

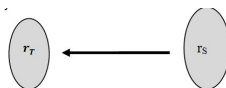
ϕ_i = fraksi energi yang dipancarkan oleh wilayah sumber dan diserap dalam wilayah target

m_{r_T} = massa wilayah target (kg atau g)

k = konstanta (Gy·kg/MBq·sec·MeV atau rad·g/μCi·hr·MeV)

r_k adalah wilayah target dan

r_h adalah wilayah sumber



Gambar 1. Konsep skema MIRD

Konsep skema MIRD, dosis serap pada wilayah target r_T dihitung atas dasar jumlah total dari peluruhan radioaktif yang terjadi pada wilayah sumber r_S , \bar{A}_{r_S} . Faktor S adalah fraksi energi yang dilepaskan dalam peluruhan radioaktif tunggal yang terjadi dalam r_S dan disimpan di r_T dan dinormalisasikan dengan massa wilayah target r_T , m_{r_T} . Karena ketergantungan pada pemisah jarak r_S , r_T , dan m_{r_T} . Faktor S adalah fungsi radionuklida, ukuran yang bergantung pada umur, dan jarak antara sumber dengan wilayah target [2].

Standard Reference Man

Standard Reference Man dibuat untuk keperluan perhitungan dosis pada tubuh manusia baik dari sumber eksternal maupun internal yang membutuhkan informasi data anatomi dan fisiologi dari manusia yang terekspose. *Standard Reference Man* didefinisikan sebagai manusia yang berumur 20-30 tahun dengan berat badan 70 kg, tinggi 170 cm dan tinggal di iklim yang suhunya 10 sampai 20°C. SRM ini adalah orang Caucasia yang merupakan berasal dari Eropa Barat atau Amerika Utara. Sedangkan untuk *reference man* pada wanita dengan berat badan 60 kg dan tingginya 160 cm. Standard Reference Man dengan berat badan 70 kg telah digunakan dalam model fisiologis[11], Sedangkan pada wanita berat badan 60 kg dan tingginya 163 cm [12], seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

Asian Reference Man

Model *reference man* untuk orang dewasa pria maupun wanita yang berumur 15, 10, 5, 1, dan 0 tahun dari populasi orang Asia dan Caucasia yang telah dilaporkan oleh Tanaka [13] Terdapat parameter yang membedakan antara *Asian Reference Man* dan *ICRP Reference Man*.

Tabel 1. Model *reference man* orang Asia dibandingkan dengan ICRP *reference*[13]

Parameter	<i>Asian Reference Man</i> (1998)	ICRP <i>Reference Man</i> (1995) revisi
Umur	(20-50)	(20-50)

Jenis Kelamin	Pria	Wanita	Pria	Wanita
Berat Badan (kg)	60	51	73	60
Tinggi (cm)	170	160	176	163
Ras	Mongolia dan kulit putih		Kulit putih	

Untuk menghitung estimasi dosis internal pada orang Asia, maka digunakan massa organ manusia berdasarkan *Asian Reference man* yang telah dibuat oleh Tanaka [13]. Perbedaan berat organ antara *Standard Reference Man* dan *Asian Reference Man* ditunjukkan pada tabel berikut ini:

Tabel 2. Berat organ *Standard* dan *Asian Reference Man*

Organ, jaringan	<i>Asian Reference Man</i>		<i>ICRP Reference Man</i>	
	ARMM	ARMF	CRM	CRF
Darah	4800	3800	5500	4354
Otak	1470	1320	1400	1257
lambung	140	110	150	118
usus	920	710	1000	772
Jantung	380	320	330	278
Ginjal	320	280	310	271
Hati	1600	1400	1800	1575
Paru	1200	910	1000	758
Otot	25000	20000	30000	21796
Tulang	4500	3400	5000	3778
Limpa	140	120	180	154

ALAT BANTU DALAM PERHITUNGAN DOSIMETRI INTERNAL

Terdapat beberapa software yang digunakan dalam perhitungan dosimetri radiasi internal yaitu diantaranya MIRDose, MIRDose merupakan software yang telah banyak digunakan oleh komunitas kedokteran nuklir sebagai dasar estimasi dosis internal. Versi pertama dari MIRDose dikembangkan pada tahun 1980. Versi terakhir pada kode MIRDose 3 terdapat 200 radionuklida dan 10 fantom antropomorfik pada menu perhitungan dosimetri radiasi internal [14], OLINDA/EXM merupakan software pengganti MIRDose yang menggunakan bahasa pemrograman Java dan lingkup Java Development Kit. Semua kode dari MIRDose ditulis ulang dan dikembangkan, sehingga jumlah radionuklida yang tersedia dalam menu perhitungan terdapat 800 radionuklida dan model fantom yang tersedia lebih banyak daripada MIRDose [15], OEDIPE [16,17], AIDE [18], PLEIADES [19,20], MABDOSE [21,22], MINERVA [23], CELLDOSE [24,25], RADAR [26]. Namun, hanya software OLINDA/EXM yang dikomersialkan dan sudah diklasifikasikan sebagai perangkat treatment planning oleh FDA AS [14].

METODOLOGI

Berdasarkan Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional nomor 195/KA/XI/2011 tentang Pedoman Etik Penggunaan dan Pemeliharaan Hewan Percobaan, maka setiap penelitian yang menggunakan hewan percobaan yang dilakukan oleh BATAN, diharuskan yang telah melalui pengkajian dan telah disetujui oleh Ketua Komisi Penggunaan dan Pemeliharaan Hewan Percobaan (KEPPHP) BATAN. Oleh karena itu, uji biodistribusi ^{177}Lu -DOTA Trastuzumab pada hewan mencit (*Mus musculus*) ini telah mendapatkan persetujuan dari KEPPHP BATAN pada tanggal 24 Juli 2015 dengan No.004/KEPPHP-BATAN/VII/2015.

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ^{177}Lu -DOTA Trastuzumab produksi PTRR, mencit, ketamine, syringe 1 ml, plastik klip dan pot sample. Sedangkan peralatan yang digunakan adalah pisau bedah, timbangan digital, pinset, alat pencacah gamma Nucleus dan software OLINDA/EXM.

Tahap yang dilakukan adalah :

1. Uji Biodistribusi ^{177}Lu -DOTA Trastuzumab pada Mencit
2. Proses pembedahan dan Pencacahan
3. Konversi %ID Hewan ke Manusia
4. Menghitung *residence time* dan dosis radiasi internal menggunakan OLINDA/EXM

HASIL DAN PEMBAHASAN

Estimasi dosis internal dalam penelitian ini bertujuan untuk membandingkan estimasi dosis pada manusia Asia dan Caucasia dengan menggunakan *Reference Man Models* yaitu *Asian reference Man* dan *Standard Reference Man* berdasarkan data biodistribusi yang dilakukan pada hewan coba mencit (*Mus mukulus*). Dengan adanya perkembangan *Reference Man Models* dan software yang digunakan untuk menghitung dosis radiasi internal seperti OLINDA/EXM yang merupakan sebuah software dari Vanderbilt University, dapat memudahkan melakukan estimasi dosis internal. Meskipun *Reference Man* untuk orang Indonesia belum ditetapkan oleh IAEA, untuk memperkirakan prosedur dosis radiasi internal dalam kedokteran nuklir di Indonesia bisa menggunakan *Asian Reference Man*, seperti yang dilaporkan dalam penelitian Hidayati [27]. Penelitian ini menunjukkan bahwa pencitraan seluruh tubuh pada mencit dapat digunakan sebagai alat praklinis untuk estimasi awal dosis serap radiofarmaka ^{177}Lu -DOTA Trastuzumab pada manusia [28]. Organ biodistribusi yang diamati adalah kandung kemih, ginjal, hati, usus, jantung, paru, otot, otak, tulang, limfa, dan lambung. Organ-organ dipilih sebagai organ yang akan diamati biodistribusi radiofarmaka ^{177}Lu -DOTA Trastuzumab, karena organ tersebut merupakan organ parenkim utama dalam tubuh dan didefinisikan sebagai organ sumber di software OLINDA/EXM [29].

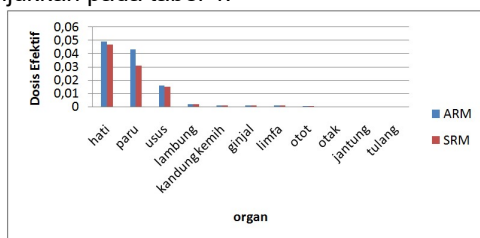
Sebelum melakukan perhitungan menggunakan OLINDA/EXM, data hasil uji biodistribusi ^{177}Lu -DOTA Trastuzumab pada mencit yang berupa % ID/gram organ mencit dikonversikan terlebih dahulu ke % ID/gram organ manusia yaitu dengan menggunakan berat tubuh dan berat organ [27] manusia Asia dan Caucasia. Kemudian melakukan perhitungan *residence time* dengan cara memplotkan %ID/gram organ dan waktu. Dimana, *residence time* merupakan waktu tinggal radiofarmaka pada masing-masing organ [31]. *Residence time* di masing-masing sumber organ dihitung sebagai *Area Under the Curve* (AUC) dari kurva waktu-aktivitas [32]. Dari hasil perhitungan *residence time* yang dapat dilihat pada tabel 3, organ yang memiliki *residence time* tertinggi adalah hati dan otot. Hati merupakan organ yang ditekankan dalam pengkajian dosimetri sebagai organ yang dianggap beresiko tinggi, dimana hati digunakan sebagai organ pembatas dosis artinya hati akan menjadi organ yang paling beresiko tinggi sehingga tidak boleh melewati pembatas dosis untuk hati. Pengkajian dosimetri internal pada hati dilakukan untuk mencegah terjadinya *nephropathy* radiasi, yaitu kerusakan hati akibat radiasi tinggi [33]. Sedangkan otot dianggap sebagai sumber dan bukan target [34], sehingga setelah dilakukan perhitungan dosis, otot dianggap menerima dosis internal yang rendah.

Tabel 3. Hasil perhitungan waktu tinggal (*residence time*) dan dosis efektif pada *Asian Reference Man* dan *Standard Reference Man*

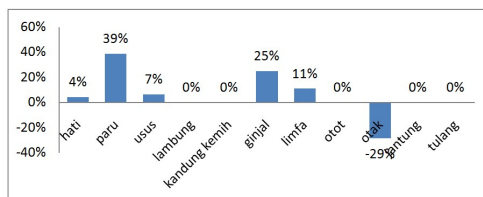
Organ	Asian Reference Man		Standard Reference Man	
	Waktu tinggal / <i>Residence Time</i> (jam)	Dosis Efektif (mSv/MBq)	Waktu tinggal / <i>Residence Time</i> (jam)	Dosis Efektif (mSv/MBq)
Hati	15.50	0.049	14.90	0.047
Otot	11.04	0.0003	9.68	0.0003
Paru	3.29	0.043	2.34	0.031
Tulang	3.23	0	3.03	0
Ginjal	0.58	0.001	0.48	0.0008
Usus	0.41	0.016	0.38	0.015
Jantung	0.31	0	0.23	0
Limfa	0.30	0.001	0.32	0.0009
Otak	0.14	0.00005	0.17	0.00007
Kandung kemih	0.064	0.001	0.06	0.001
Lambung	0.061	0.002	0.05	0.002
Dosis Efektif total		0.12		0.1

Dosis serap dihitung berdasarkan metode MIRD dengan memasukkan *residence time* masing-masing subjek atau masing-masing sumber organ ke dalam software OLINDA/EXM [32]. Dalam penentuan dosis internal untuk masing-masing organ target yang diperhitungkan bukan hanya dosis yang didapat dari organ target itu sendiri melainkan dosis yang berasal dari organ sumber yang lain atau disekitarnya [35]. Organ-organ yang memiliki dosis efektif atau dosis internal yang tertinggi dapat dilihat pada gambar 2 yaitu : hati, paru-paru dan usus dengan dosis masing-masing pada manusia Asia yaitu : 0.0489; 0.0432 dan 0.016

mSv/MBq, dan pada manusia Caucasia : 0.047; 0.031; dan 0.015 mSv/MBq meskipun *residence time* tertinggi terjadi pada organ hati, otot, dan paru. Sedangkan hasil estimasi dosis radiasi internal radiasi total yang diperoleh manusia pada penyuntikan radiofarmaka ^{177}Lu -DOTA Trastuzumab adalah 0.12 mSv/MBq pada manusia Asia dan 0.1 mSv/MBq pada manusia Caucasia, seperti yang ditunjukkan pada tabel 3. Dimana, dosis radiasi internal total tersebut merupakan faktor konversi, yang mana digunakan untuk memperkirakan dosis efektif total yang akan diinjeksikan kedalam tubuh manusia yaitu dengan mengalikan dosis yang akan diinjeksikan dengan faktor nilai 0.12 dan 0.1. sedangkan untuk memperkirakan dosis internal pada masing-masing organ dapat dikalikan dengan hasil perhitungan OLINDA/EXM yang ditunjukkan pada tabel 4.



Gambar 2. Dosis efektif pada *Asian Reference Man* dan *Standard Reference Man*



Gambar 3. Persentase perbandingan antara *Asian Reference Man* dan *Standard Reference Man*

Studi estimasi ini merupakan estimasi dosis pada manusia dengan model female manusia Asia (*Asian Reference Man*) dan manusia Caucasia yang sudah ada dalam software OLINDA/EXM. Dalam penggunaan radiofarmaka bagi pasien orang Indonesia untuk tujuan diagnostik, estimasi yang harus dilakukan adalah dengan memakai *reference man models* manusia Asia. Oleh karena itu, pasien orang Asia akan lebih baik tidak menggunakan hasil perhitungan dosis internal *Standard reference man/orang Caucasia*, karena radiofarmaka yang disuntikan dalam jumlah yang sama, pasien orang Asia akan menerima dosis efektif sekitar 1-15% lebih tinggi daripada pasien negara-negara lain yang menerapkan model orang Caucasia seperti yang dipaparkan oleh Hidayati (2015) [27]. Sedangkan berdasarkan hasil prosentase perbandingan *Asian reference man* dan *Standard reference man* dalam studi ini diperoleh prosentase perbandingan total 20 % lebih tinggi daripada manusia Caucasia. Dengan prosentase perbandingan tertinggi terdapat pada organ paru-paru 39% dan ginjal 25%. Hal ini disebabkan oleh perbedaan fisiologi antara orang Asia dan orang Caucasia [34]. Sebagai contoh, pada organ orang Indonesia memiliki massa lebih kecil daripada orang Caucasia, dimana dosis dapat diperoleh dengan hubungan antara energi yang akan diberikan pasien dan massa organ seperti pada persamaan (1). Jika energi yang digunakan sama, maka dosis yang diterima oleh orang Indonesia lebih besar. Oleh karena itu, sebaiknya penggunaan *Standard Reference Man Models* yang diterapkan pada manusia Asia sebaiknya dikaji ulang lebih mendalam untuk menghindari risiko stokastik yang dapat terjadi.

KESIMPULAN

Hasil penelitian estimasi dosis radiasi internal pada kedua *reference models* menunjukkan bahwa organ-organ yang memiliki dosis tinggi yaitu pada hati, paru, dan usus dengan dosis masing-masing pada manusia Asia yaitu : 0.0489; 0.0432 dan 0.016 mSv/MBq, dan pada manusia Caucasia : 0.047; 0.031; dan 0.015 mSv/MBq. Hasil studi menunjukkan bahwa perbandingan antara *Asian Reference Man* dan *Caucasian Models* dengan memberikan dosis injeksi dalam jumlah yang sama, manusia Asia akan menerima dosis efektif sekitar 20% lebih tinggi dari manusia Caucasia, dengan dosis efektif total pada

masing-masing manusia Asia dan Caucasia adalah 0.12 mSv/MBq dan 0.1 mSv/MBq. Untuk penelitian selanjutnya, akan lebih baik jika berat badan organ pada *Asian Reference Man* diganti dengan *Indonesian Reference Man*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada ibu Titis Sekar Humani dan Ibu Martalena Ramlidi Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka BATAN sebagai mitra kerjasama penelitian PTKMR BATAN yang telah menyediakan radiofarmaka ^{177}Lu -DOTA Trastuzumab. Disampaikan pula terimakasih kepada Bapak Karyadi dan Ibu Sri Aguswarini sebagai teknisi hewan di Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka BATAN yang telah membantu proses pelaksanaan uji biodistribusi ^{177}Lu -DOTA Trastuzumab pada hewan coba mencit.

DAFTAR PUSTAKA

1. Awaludin, Rohadi. Radiofarmaka untuk terapi kanker. Buletin ALARA PTKMR BATAN, 16(1),9-13, (2014)
2. McParland, B. J. (*Nuclear Medicine Internal Dosimetry*,(Vol.53). 519-530,(2013)
3. Mattsson, S., Jacobsson, L., & Johansson, L. Internal Radionuclide Dosimetry: Diagnostic and Therapeutic Nuclear Medicine, Occupational and Environmental Exposures. Differences and Similarities, 18(3), 421-424,(2003).
4. Jönsson, L. *Development and Evaluation of Methods and Models*. Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy faculty of Science at Lund University Swedwn. 1-52, (2007).
5. Schuchardt, C., Kulkarni, H., Zachert, C., & Baum, R. P. Dosimetry in Targeted Radionuclide Therapy: The Bad Berka Dose Protocol — Practical Experience, 47(March), 65–73. (2013)
6. Stabin, M. G. Uncertainties in Internal Dose Calculations for Radiopharmaceuticals, THE JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE 49 (5)(May 2008), 853–860 (2008).
7. Siegel, J. A., Thomas, S. R., Stubbs, J. B., Stabin, M. G., Hays, M. T., Koral, K. F., ... Brill, A. B. MIRD Pamphlet No. 16: Techniques for Quantitative Radiopharmaceutical Biodistribution Data Acquisition and Analysis for Use in Human Radiation Dose Estimates, (16), 37–62. (2015)
8. Hidayati, N., Susilo, Y., Mutalib, A., Sastramihardja, H., & Masjhur, J. S. studi awal estimasi dosis internal ^{177}Lu -dota trastuzumab pada manusia berbasis uji biodistribusi pada mencit, Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir, 16(2), 105–116 (2015)
9. Stabin, M., & Flux, G. Internal dosimetry as a tool for radiation protection of the patient in nuclear medicine, Biomedical Imaging and Intervention Journal (2)(615), 1–11 (2007).
10. Sgouros, G. Dosimetry of internal emitters. *Journal of Nuclear Medicine: Official Publication, Society of Nuclear Medicine*, 46 Suppl 1(1), 18S–27S (2005)
11. ICRP. Report on the task group on reference man – ICRP publication 23. International Commission on Radiological Protection, Pergamon, Oxford (1975).
12. International Commission on Radiological Protection, Basic Anatomical and Physiological Data for use in Radiological Protection: The Skeleton. ICRP Publication 70. Ann. ICRP 25 (2) (Elsevier Science, Oxford)(1995)
13. G. Tanaka, The Tanaka Model: IAEA TECDOC-1005, IAEA-TECDOC-1005 Compilation of anatomical, physiological and metabolic characteristics for a Reference Asian Man Volume 1: Data summary and conclusions, IAEA Publication, Vienna (1998)
14. Stabin MG. MIRDOSE: personal computer software for internal dose assessment in nuclear medicine. J Nucl Med 37:538–546 (1996).
15. Stabin MG, Sparks RB, Crow E (2005) OLINDA/EXM: the second-generation personal computer software for internal dose assessment in nuclear medicine. J Nucl Med 46:1023–1027
16. Chiavassa S, Aubineau-Laniece BA, Lisbona A, Barbet J, Franck D, Jourdain JR, Bardie's M (2006) Validation of the a personalized dosimetric evaluation tool (Oedipe)

- for targeted radiotherapy based on the Monte Carlo MCNPX code. *Phys Med Biol* 51:601–616
17. Franck D, de Carlan L, Pierrat N, Broggio D, Lamart S (2007) OEDIPE: A new graphical user interface for fast construction of numerical phantoms and MCNP calculations. *Radiat Prot Dosim* 127:262–265
 18. Bertelli L, Melo DR, Lipsztein J, Cruz-Suarez R (2008) AIDE: internal dosimetry software. *Rad Prot Dosim* 130:358–367
 19. Fell TP (2007) The computation of ICRP dose coefficients for intakes of radionuclides with PLEIADES: biokinetic aspects. *Rad Prot Dosim* 127:220–222
 20. Fell TP, Phipps AW, Smith TJ (2007) The internal dosimetry code PLEIADES. *Rad Prot Dosim* 124:327–338
 21. Johnson TK, McClure D, McCourt S (1999a) MABDOSE I: characterization of a general purpose dose estimation code. *Med Phys* 26:1389–1395
 22. Johnson TK, McClure D, McCourt S (1999b) MABDOSE II: validation of a general purpose dose estimation code. *Med Phys* 26:1396–1403
 23. Descalle M-A, Hartmann CL, Siantar H, Dauffy L, Nigg DW, Wemple CA, Yuan A, DeNardo GL (2003) Application of MINERVA Monte Carlo simulations to targeted radionuclide therapy. *Cancer Biother Radiopharm* 18:71–79
 24. Champion C, Zanotti-Fregonara P, Hindie´ E (2008) CELLDOSE: a Monte Carlo code to assess electron dose distribution – S-values for ^{131}I in spheres of various sizes. *J Nucl Med* 49:151–157
 25. Hindie´ E, Champion C, Zanotti-Fregonara P, Rubello D, Colas- Linhart N, Ravasi L, Moretti J-L (2009) Calculation of electron dose to target cells in a complex environment by Monte Carlo code “CELLDOSE”. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 36:130–136
 26. Eckerman K (2002) RADAR: the radiation dose assessment resource – an online source of dose information for nuclear medicine and occupational radiation safety (abstract). *J Nucl Med* 42(suppl):243P
 27. Hidayati, N., Basuki. the review of application of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ radioisotope in diagnostic procedures and internal radiation dose estimation using olinda / exm, 1–8(2015) (in press)
 28. Constantinescu, C. C., Sevrioukov, E., Garcia, A., Pan, M. L., & Mukherjee, J. Evaluation of ^{18}F Mefway biodistribution and dosimetry based on whole-body PET imaging of mice. *Molecular Imaging and Biology*, 15(2), 222–229 (2013).
 29. Wang, S. yang, Bao, X., Wang, M. wei, Zhang, Y. ping, Zhang, Y. jian, & Zhang, J. ping. Radiation dosimetry estimates of ^{18}F -alfatide II based on whole-body PET imaging of mice. *Applied Radiation and Isotopes*, 105(270), 1–5. (2015)
 30. Zanzonico PB and Divgi C. Patientspecific radiation dosimetry for radionuclide therapy of liver tumors with intrahepatic artery rhenium-188 lipiodol *Semin Nucl Med* 38(2):S30-9 (2008).
 31. Kimura, Y., Ito, H., Shiraishi, T., Fujiwara, H., Kodaka, F., Takano, H., ... Suhara, T. Biodistribution and radiation dosimetry in humans of ^{11}C FLB 457, a positron emission tomography ligand for the extrastriatal dopamine D2 receptor. *Nuclear Medicine and Biology*, 41(1), 102–105 (2014)
 32. Wierts R, Pont CDJMD, Brans B, Mottaghy, FM, and Kemerink GJ. Dosimetry in molecular nuclear therapy. *Methods* (2011);55(3):196-202 (2011)
 33. Suryanti, Rini. *Penentuan Dosis Internal Berbagai Organ pada Pemeriksaan Bone Scan $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP dengan Metode MIRD*. Tesis Program Pasca Sarjana FMIPA Universitas Indonesia. Jakarta. (2011)
 34. Hansson, E. The Internal Radiation Dosimetry of Diagnostic Radiopharmaceuticals across Different Asian Populations, MSc. Thesis University of Gothenburg, download from : http://radfys.gy.se/digitalAssets/1360/1360082_edvin-hansson-rapport.pdf (2012).