

ANALISIS KARAKTERISASI ALIRAN SIRKULASI ALAMI PADA UNTAI PRE-FASSIP 02 BERDASARKAN TEMPERATUR AIR DI TANGKI PEMANAS MENGGUNAKAN CFD

Pryawrata Putera Moniaga¹⁾, Melvin¹⁾, M. Hadi Kusuma²⁾, Mulya Juarsa^{2,*)}

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Katolik Atmajaya, Jakarta

²⁾Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional
e-mail: *)juars@batan.go.id

Abstrak

Sebagaimana pembangkit tenaga listrik lainnya, PLTN juga tidak lepas dari resiko kecelakaan. Salah satu kecelakaan PLTN yang sangat terkenal adalah insiden ledakan reaktor nuklir di Fukushima Daichi yang merupakan rangkaian dari kegagalan alat, pelelehan nuklir dan pelepasan bahan radioaktif pada lokasi Fukushima 1 setelah kejadian gempa Tohoku dan tsunami pada 11 Maret 2011. Salah satu konsep sistem keselamatan yang terus dikembangkan saat ini adalah sistem keselamatan pasif. Sistem keselamatan pasif ini juga dikembangkan di BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional) khususnya pada Pusat Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN). PTKRN sedang melakukan eksperimen sistem pasif yang diberi nama Untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (FASSIP) dan penelitian dilakukan pada salah satu fasilitas di PTKRN BATAN yaitu Pre-FASSIP 02. Fasilitas Pre-eliminatory Fasilitas Simulasi Sistem Pasif 02 (Pre-FASSIP 02) berfungsi untuk menganalisa faktor-faktor yang diperlukan sebelum membuat Untai FASSIP 02. Salah satu faktor yang diteliti dalam Pre-FASSIP 02 kali ini adalah laju aliran fluida khususnya laju aliran fluida dalam pipa. Penelitian kali ini bertujuan untuk mengkarakterisasi laju aliran yang terjadi berdasarkan perubahan temperatur di tangki pemanas dengan menggunakan CFD. Hasil kecepatan aliran fluida yang didapat menggunakan CFD senilai $1,2 \times 10^{-1}$ m/s, sementara berdasarkan perhitungan rumus (1) senilai $1,07 \times 10^{-1}$ m/s.

Kata kunci: PLTN, Simulasi, Pre-FASSIP, Laju Aliran.

PENDAHULUAN

Menurut Syamsi Syam et al. (2008) penggunaan energi nuklir melalui PLTN saat ini memberikan sekitar 15% dari kebutuhan listrik global. Menurut ATOMOS Selain itu PLTN tidak membebaskan asap atau debu yang mengandung zat berbahaya seperti CO₂, SO₂ dan NO. Namun, sebagaimana pembangkit tenaga listrik lainnya, PLTN juga tidak lepas dari resiko kecelakaan. Salah satu kecelakaan PLTN yang sangat terkenal adalah insiden ledakan reaktor nuklir di Fukushima Daichi yang merupakan rangkaian dari kegagalan alat, pelelehan nuklir dan pelepasan bahan radioaktif pada lokasi Fukushima 1 setelah kejadian gempa Tohoku dan tsunami pada 11 Maret 2011.

Ledakan di reaktor Fukushima berhubungan dengan kegagalan pada sistem proteksi dan faktor yang berkaitan dengannya. Ketika gempa terjadi, sistem kontrol sebenarnya berhasil berfungsi dengan memadamkan reaktor sehingga reaksi fisi di dalam reaktor tak terjadi lagi. Akan tetapi, masih ada energi dari peluruhan radioaktif yang tersisa. Pada saat reaktor padam, masih ada 7% dari 1.553 MW, atau sebesar 107 MW. Dalam kondisi tersebut, sistem pendingin seharusnya bekerja untuk mengalirkan air saat awal sistem tersebut berfungsi. Namun pada kenyataannya sistem pendingin akhirnya macet setelah satu jam sebab generator listrik mati akibat tsunami. Situasi tersebut dikenal dengan istilah LOFA (*Loss of Flow Accident*), yakni pendingin tetap ada, namun tidak mengalir akibatnya panas tak bisa ditransfer. Maka dari itu, menurut Kresna, I Dewa M (2012) kegagalan sistem penyokong tersebut ketika musibah terjadi mengakibatkan batang kendali menjadi meleleh dan meledaknya reaktor pun tidak dapat dihindari.

Salah satu konsep sistem keselamatan yang terus dikembangkan saat ini adalah sistem keselamatan pasif. Maulana, Restiya et al. (2016) mengatakan bahwa sistem keselamatan pasif merupakan sebuah sistem yang memanfaatkan fenomena alam untuk memenuhi salah satu atau lebih dari ketiga hal berikut yakni memadamkan reaktor dengan selamat, mengambil panas peluruhan setelah *shutdown*, serta mengukung zat radioaktif agar tidak terlepas ke lingkungan.

Sistem keselamatan pasif ini juga telah dikembangkan di BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional) Pembangkit Tenaga Listrik Nuklir (PLTN) Indonesia. BATAN khususnya pada Pusat Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) sedang melakukan eksperimen sistem pasif yang diberi nama Untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (FASSIP) dan penelitian dilakukan pada salah satu fasilitas di PTKRN BATAN yaitu Pre-FASSIP 02. Noufal, Mahran et al. (2015) Fasilitas Pre-eliminatory Fasilitas Simulasi Sistem Pasif 02 (Pre-FASSIP 02) berfungsi untuk menganalisa faktor-faktor yang diperlukan sebelum membuat Untai FASSIP 02. Salah satu faktor yang diteliti dalam Pre-FASSIP 02 kali ini adalah laju aliran fluida khususnya laju aliran fluida dalam pipa. Penelitian kali ini bertujuan untuk mengkararakteristik laju aliran yang terjadi berdasarkan perubahan temperatur di tangki pemanas dengan menggunakan FLUENT.

TEORI

Laju aliran

Berdasarkan bentuk untai pre-FASSIP 02 dalam kondisi tunak, Juarsa, Mulya (2016) menurunkan rumus fenomena laju aliran sebagai berikut:

$$v = \frac{-64\mu L + \sqrt{(64\mu L)^2 + (8gHK\rho(\rho_h - \rho_c)D^4)}}{2(D^2\rho K)} \quad (1)$$

Persamaan (1) adalah persamaan laju aliran di dalam pipa untai kotak yang diturunkan berdasarkan hukum natural. Ini berarti semua parameter yang mempengaruhi seperti total panjang untai, perbedaan ketinggian antara pemanas dan pendingin, diameter pipa, temperatur dan konstanta K mempengaruhi nilai laju aliran.

g	: Percepatan gravitasi	[m/s ²]
H	: Perbedaan ketinggian	[m]
ρ	: Rata-rata masa jenis air	[kg/m ³]
ρ_h	: masa jenis air pada area pemanas	[kg/m ³]
ρ_c	: masa jenis air pada area pendingin	[kg/m ³]
L	: Total panjang loop	[m]
K	: koefisien kehilangan	[-]
μ	: viskositas dinamik	[Ns/m ²]
v	: laju aliran pada sirkulasi alami	[m/s]

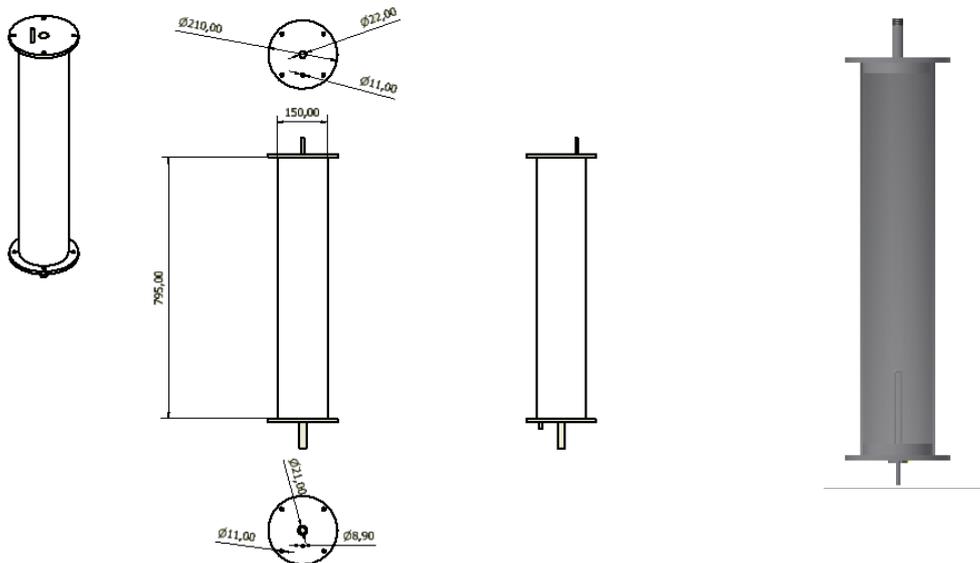
METODOLOGI

Komponen utama dari rancang bangun Untai Pre-FASSIP 02 adalah:

1. Tabung *Heater*

Tabung tangki *heater* diasumsikan sebagai reaktor atau tempat terjadinya pembangkitan kalor yang digunakan sebagai energi panas. *Heater* merupakan tangki normal yang berbentuk silinder berbahan akrilik dengan memiliki geometri tebal 0,5 cm, diameter lingkaran 14,6 cm dan tinggi 79,5 cm. Tabung tangki *heater* memiliki empat lubang yang terletak 2 di atas dan 2 di bawah, yang memiliki fungsi sebagai jalur masuk fluida kerja dan juga sebagai tempat menempatkan *heater*. Pada bagian selubung tabung

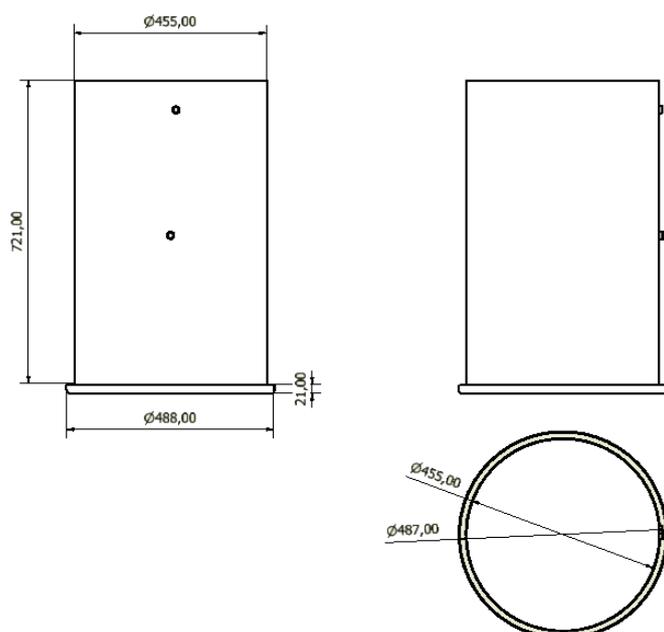
tangki *heater* terdapat 4 buah lubang yang berfungsi sebagai tempat meletakkannya *thermocouple* sebagai pengukur temperatur pada tabung *heater*.



Gambar 1. Proyeksi 2D dan 3D Tabung *Heater*

2. Cooling Tank

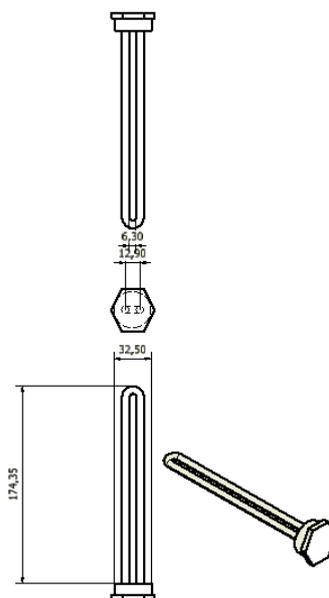
Cooling tank atau tangki pendingin adalah sebuah tangki berisi air yang digunakan untuk mendinginkan fluida kerja air setelah mengalami pemanasan pada tangki *heater*. Pada tangki pendingin ini terjadi penukaran kalor dari fluida panas dengan air yang berada pada tangki pendingin, sehingga menyebabkan temperatur fluida kerja menjadi dingin dan menyebabkan perubahan fasa fluida dari fluida uap menjadi fluida cair sehingga densitas fluida kerja berubah. Fluida kerja akan kembali ke tangki pemanas yang terletak dibawah dengan bantuan gravitasi. *Cooling tank* yang digunakan memiliki geometri tinggi 72.1 cm dan diameter dalam tangki 45,5 cm diletakkan di atas tangki pemanas dengan beda ketinggian 426,8 cm.



Gambar 2. Proyeksi 2D *Cooling Tank*

3. Heater

Heater bekerja sebagai pembangkit panas untuk fluida kerja, dimana *heater* berfungsi sebagai simulasi asal kalor yang terjadi pada ruang reaktor (panas yang terbentuk dari reaksi fisi berantai PLTN). *Heater* memiliki spesifikasi tinggi 21,5 cm dan batas maksimal *supply* daya hingga 5000 W.



Gambar 3. Gambar 3D *Heater*

4. Flexible Hose, Pyrex, dan Valve

Flexible hose (selang) berfungsi sebagai alat sambung antara alat yang bersifat lentur dan mudah digerakkan. Selain itu, *flexible hose* digunakan untuk mengalirkan dan menyambungkan aliran. Sedangkan *pyrex* digunakan sebagai tempat tempat fluida kerja mengalir, *pyrex* berwarna bening sehingga dapat digunakan untuk mengamati fenomena aliran fluida kerja dengan tinggi 163 cm dan diameter lingkaran dalam 1,5 cm. *Valve* berfungsi sebagai pengatur buka tutup air air masuk ke dalam tangki, membuang *bubble* yang terperangkap masuk ditabung atau diselang.

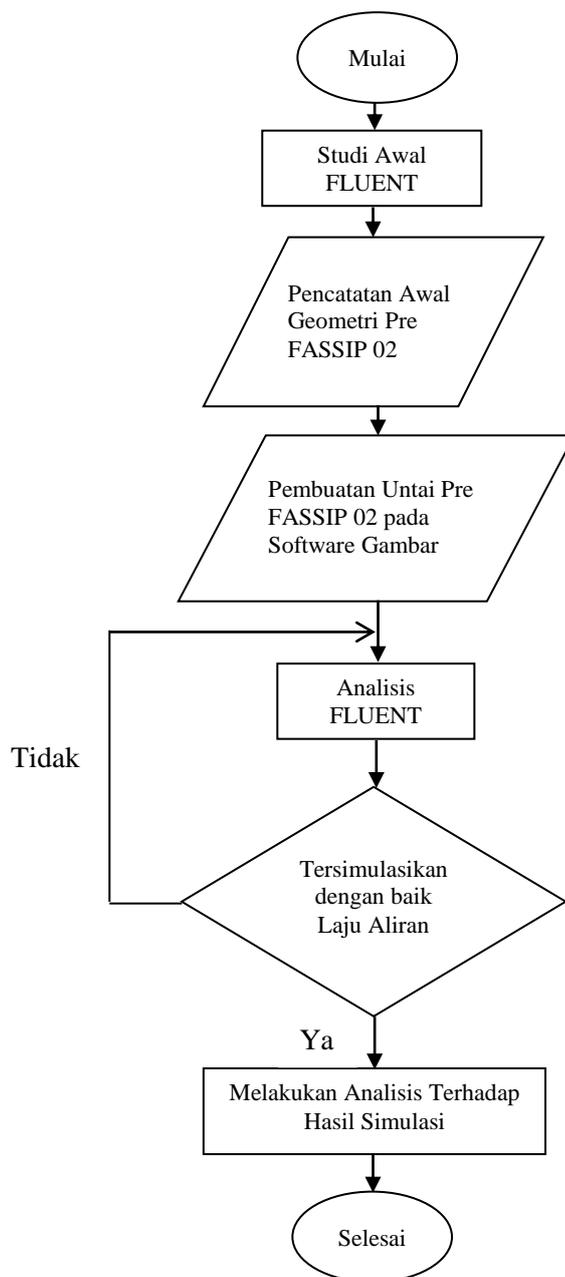
5. Heat exchanger

Heat exchanger berfungsi sebagai pelepas kalor atau penukar kalor yang dibawa oleh aliran yang berasal dari tangki *heater* menuju *cooling tank* dan terjadi proses penukaran kalor dan menyebabkan aliran fluida mengalami pendinginan. *Heat exchanger* yang digunakan memiliki panjang 2,68 m.

6. Pressure Gauge

Pressure gauge digunakan untuk mengukur tekanan di dalam tabung tangki *heater*. Pemasangan *pressure gauge* berfungsi agar tekanan dalam tangki *heater* terkontrol dan tidak melebihi daya tahan tabung.

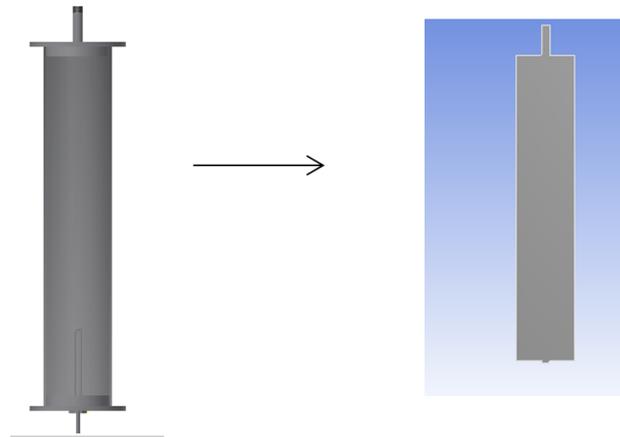
Tahapan Penelitian



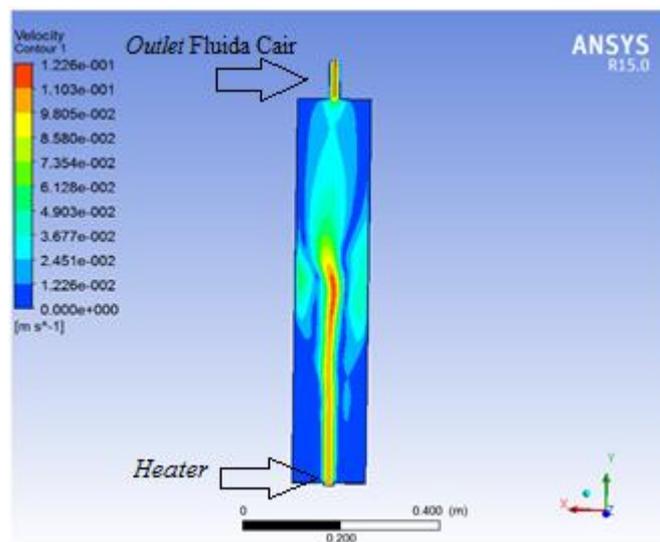
Gambar 3. *Flowchart* Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Proyeksi tangki pemanas yang digunakan untuk analisis pada ANSYS FLUENT CFD menggunakan proyeksi 2D dari tangki pemanas yang digunakan. Berdasarkan hasil analisis ANSYS FLUENT CFD laju aliran yang terjadi pada tangki pemanas dengan suhu maksimal pemanasan mencapai 343 K. Proyeksi gambar dan hasil analisis ANSYS FLUENT CFD diperlihatkan pada Gambar 4. Dan Gambar 5.



Gambar 4. Proyeksi 3D Tangki *heater* dan Proyeksi 2D untuk analisis ANSYS FLUENT



Gambar 5. Fenomena Laju Aliran di Tangki *Heater* melalui CFD

Dari hasil analisis ANSYS FLUENT, kecepatan aliran fluida tergambar sebagai kontur *velocity* pada Gambar 5. Kontur *velocity* berwarna kuning terang dan merah berdasarkan keterangan memiliki kecepatan fluida 9.80×10^{-2} m/s sampai 1.23×10^{-1} m/s. Hal ini menyebabkan bentuk aliran berupa aliran laminar karena nilai hasil perhitungan didapatkan bilangan Reynolds dibawah 2000. Bentuk kecepatan aliran pada pertengahan tangki menyebar dengan kecepatan aliran fluida antara 3.6×10^{-2} m/s sampai 7.34×10^{-2} m/s. Hal ini disebabkan sifat awal fluida panas yang berupa aliran laminar, sehingga mudah mengalami penurunan kecepatan dan perubahan diameter tabung yang membesar. Hasil analisis untuk laju aliran yang terjadi pada *outlet heater tank* menunjukkan kontur kecepatan yang cepat bernilai 8.58×10^{-2} m/s sampai 1.226×10^{-1} m/s, hal ini di karenakan efek buoyancy yang di dihasilkan dari pemanasan *heater* mendorong fluida untuk melewati diameter lubang yang lebih kecil dari diameter tangki *heater* sehingga laju aliran fluida yang melewati *outlet heater tank* menjadi cepat. Bila berdasarkan perhitungan nilai kecepatan aliran rata-rata pada seluruh rectangular dengan beberapa point seperti nilai koefisien kehilangan senilai 8,59, nilai massa jenis air rata-rata dengan nilai 953 kg/m^3 , serta nilai temperatur rata-rata $60 \text{ }^\circ\text{C}$, seluruh point tersebut di masukan kedalam rumus (1) maka didapat nilai kecepatan aliran fluida rata-rata senilai $1,07 \times 10^{-1}$ m/s. Jika

dibandingkan dengan kecepatan aliran fluida pada *outlet heater tank* senilai $1,2 \times 10^{-1}$ m/s. Maka terdapat kehilangan kecepatan aliran senilai $0,2 \times 10^{-1}$ m/s. Kehilangan kecepatan aliran fluida dapat terjadi dikarenakan bentuk geometri yang banyak memiliki belokan siku serta katup bola *fully open* dan dapat disebabkan akibat kotornya permukaan pyrex atau permukaan selang.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, kecepatan fluida pemanasan pada *heater* fluida adalah 8.03×10^{-3} m/s sampai 1×10^{-2} m/s. Sedangkan, kecepatan fluida pada bagian tengah *heater tank* adalah 2.03×10^{-3} m/s sampai 7.03×10^{-3} m/s. Kecepatan fluida pada *outlet heater tank* adalah 7.034×10^{-3} m/s sampai 1.005×10^{-2} m/s. Kemudian, kecepatan fluida pada *outlet heater tank* menjadi lebih cepat dikarenakan efek buoyancy yang di hasilkan dari pemanasan *heater* mendorong fluida pada *outlet heater tank*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala PTKRN BATAN, Dr. Geni Rina Sunaryo, MSc. Yang telah memberikan izin untuk pelaksanaan penelitian di Laboratorium Termohidrolika dalam rangka tugas akhir. Kemudian, kepada Kepala Subbidang Fasilitas Termohidrolika BPFKR PTKRN BATAN dan staf atas bantuannya selama penelitian. Terimakasih atas dukungan anggaran dari Program INSINAS Riset Pratama Kemitraan tahun 2017 KEMENRISTEKDIKTI antara PTKRN BATAN dan FTUI, dengan nomor kontrak 02/INS-2/PPK/E/E4/2017. Penulis setuju bahwa hak publikasi adalah milik PTKRN BATAN dan FTUI.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ATOMOS (Media Informasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir). *Pengenalan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)*. Pusat Diseminasi Iptek Nuklir Gedung Perasten Badan Tenaga Nuklir Nasional. www.batan.go.id. ISSN : 0215-0611. Jakarta.
- [2] Juarsa, Mulya., Giarno., K, Heru., Haryanto Dedy., Prasetio, Joko. 2016. *Passive System Simulation Facility (FASSIP) Loop for Natural Circulation Study*. ISSN: 2355-7524. Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir. Batam.
- [3] Kresna, I Dewa M. 2012. *Meledaknya Reaktor Nuklir Fukushima (Jepang)*. Universitas Negeri Manado.
- [4] Maulana, Restiya, Juarsa, Mulya, Susanto, Kusigit, Witoko Joko Prasetio. 2016. *Karakterisasi Flowmeter untuk Laju Aliran Rendah pada Sirkulasi Alami di Untai FASSIP-01*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016 Fakultas Teknik Universitas. Laboratorium Termohidrolika Eksperimental, Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional, Gedung 80 Komplek Puspatek, Serpong. Tangerang. TE – 016 ISSN : 2407 – 1846 e-ISSN : 2460 – 8416.
- [5] Noufal, Mahran, et al. 2015. *Analisis Unjuk Kerja Pemanas dan Pendingin di Untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif*. Vol. 19. Sigma Epsilon, ISSN 0853-9103. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana Bali- Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) – BATAN. Tangerang.
- [6] Syamsi Syam, Nur. Septilarso, Anggoro. 2008. *Aplikasi Sistem Keselamatan Pasif pada Reaktor Nuklir*. Prosiding pertemuan ilmiah XXV HFI Jateng & DIY. Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). n.syam@bapeten.go.id, a.septilarso@bapeten.go.id. ISSN : 0853-0823. Jakarta.