

Urania

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

Beranda jurnal: <http://jurnal.batan.go.id/index.php/urania/>



INVESTIGASI MODIFIKASI LUBANG PENGISIAN GAS HELIUM PADA DESAIN *END PLUG* BATANG UJI BAHAN BAKAR NUKLIR MENGGUNAKAN ANALISIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

Hanif Ghufron¹, Shofwan Bahar², Sugeng Rianto¹, Praditya Vankabo¹,
Gagad Rahmadi¹, Odi Buana Hutapea¹, Triarjo³, Iwan Setiawan³

¹Pusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar Nuklir dan Limbah Radioaktif – BRIN
K.S.T. B.J. Habibie Gedung 720, Serpong, Tangerang Selatan, Banten, 15314

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus
Gondangmanis, PO Box 53 Bae, Kudus, Jawa Tengah, 59324

³Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran – BRIN
K.S.T. B.J. Habibie Gedung 31, Serpong, Tangerang Selatan, Banten, 15314

(Naskah diterima: 23–02–2023, Naskah direvisi: 23–03–2023, Naskah disetujui: 30–03–2023)

ABSTRAK

INVESTIGASI MODIFIKASI LUBANG PENGISIAN GAS HELIUM PADA DESAIN *END PLUG* BATANG UJI BAHAN BAKAR NUKLIR MENGGUNAKAN ANALISIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*. Telah dilakukan investigasi terhadap desain modifikasi lubang pengisian gas helium pada *end plug* batang uji PRTF dengan metode simulasi CFD. Simulasi dilakukan untuk memprediksi apakah gas helium dapat mengalir dengan baik ke dalam kelongsong melalui desain modifikasi. Dari simulasi ini diharapkan dapat diperoleh data mengenai pengaruh perubahan bentuk dan dimensi dari lubang pengisian gas helium. Data tersebut selanjutnya akan digunakan sebagai panduan untuk menentukan desain modifikasi bisa berfungsi lebih baik sehingga dapat menggantikan desain original. Data masukan yang diperlukan untuk simulasi CFD adalah geometri dari model, jenis material yang digunakan, dan parameter kondisi tekanan dan waktu untuk persiapan proses pengelasan. Selanjutnya dilakukan proses simulasi CFD dengan mensimulasikan pengondisian bahan sebelum proses las *orbital* TIG. Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain modifikasi mampu mengalirkan gas helium ke dalam kelongsong dua kali lebih cepat dibanding dengan desain original. Selain itu hasil simulasi juga menunjukkan bahwa stabilitas desain modifikasi sama dengan desain original dalam mempertahankan tekanan gas helium pada tekanan 1,5 bar.

Kata kunci: CFD, simulasi, PRTF, bahan bakar nuklir.

Investigasi Modifikasi Lubang Pengisian Gas Helium Pada Desain *End Plug* Batang Uji Bahan Bakar Nuklir Menggunakan Analisis *Computational Fluid Dynamics*
(Hanif Ghufron, Shofwan Bahar, Sugeng Rianto, Praditya Vankabo,
Gagad Rahmadi, Odi Buana Hutapea, Triarjo, Iwan Setiawan)

ABSTRACT

INVESTIGATION OF HELIUM GAS FILLING HOLE MODIFICATION ON NUCLEAR FUEL TEST ROD END PLUG DESIGN USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS. *A modified design of the helium gas filling hole in the end plug of the PRTF test rod was investigated using CFD simulation method. The simulation is conducted to predict whether helium gas can flow properly into the cladding through the modified design. From this simulation, it is expected that data will be obtained on the effect of changes in the shape and dimensions of the helium gas filling hole. The data will then be used as a guide to determine whether the modified design can function better so that it can replace the original design. The input data required for CFD simulation are the geometry of the model, the type of material used, and the condition parameters for the preparation of the welding process such as pressure and time. Then, the CFD simulation process is carried out in accordance with the conditions that occur in the TIG orbital welding machine. The simulation results show that the modified design is able to flow helium gas into the cladding twice as fast as the original design. In addition, the simulation results also show that the modified design is as stable as the original design in maintaining helium gas pressure at 1.5 bar.*

Keywords: *CFD, simulation, PRTF, nuclear fuel.*

Investigasi Modifikasi Lubang Pengisian Gas Helium Pada Desain *End Plug* Batang Uji Bahan Bakar Nuklir Menggunakan Analisis *Computational Fluid Dynamics* (Hanif Ghufron, Shofwan Bahar, Sugeng Rianto, Praditya Vankabo, Gagad Rahmadi, Odi Buana Hutapea, Triarjo, Iwan Setiawan)

PENDAHULUAN

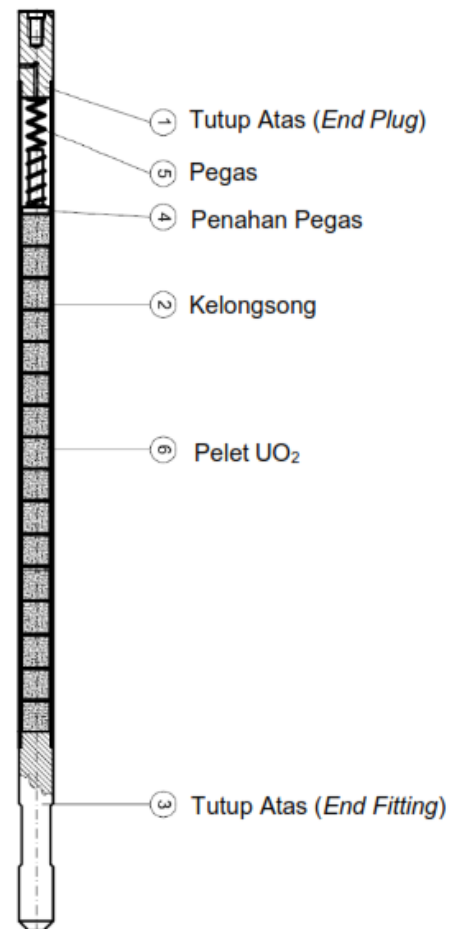
Penelitian dan pengembangan bahan bakar nuklir untuk reaktor daya telah lama dimulai. Pusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar Nuklir dan Limbah Radioaktif (PRTDBBNLR) sebagai institusi yang mendapat tugas melakukan penelitian bahan bakar nuklir di Indonesia berupaya meningkatkan kompetensi dalam penguasaan teknologi fabrikasi bahan bakar nuklir, baik bahan bakar reaktor daya maupun reaktor riset. Pusat ini mengembangkan fabrikasi komponen bahan bakar nuklir, bekerja sama dengan mitra nasional, PT ATMI, dalam bentuk riset bersama untuk memberikan kesiapan industri manufaktur lokal dalam mendukung produksi komponen bahan bakar nuklir. Pada riset ini berfokus pada pengembangan bahan bakar reaktor daya. Riset bersama ini meliputi desain prototipe, proses manufaktur dan pengujian produk[1],[2].

Untuk merealisasikan harapan tersebut, telah disediakan berbagai fasilitas penelitian dan pengembangan yang terdapat di Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS). Salah satu fasilitas yang erat kaitannya dengan pengembangan "*basic technology*" yang sudah dimiliki adalah fasilitas iradiasi seperti *Power Ramp Test Facility* (PRTF)[3]. Dengan adanya fasilitas tersebut, penelitian pembuatan batang elemen bakar nuklir tipe *Pressurized Water Reactor* (PWR) dapat dikembangkan dan diuji di PRTF[4]–[8].

Pada proses pembuatan batang uji bahan bakar nuklir tipe PWR, sistem pengelasan presisi perlu dibuat untuk mengembangkan berbagai teknologi pengelasan tutup ujung sambungan batang uji bahan bakar pada tabung kelongsong bahan bakar, yang diisi dengan pelet bahan bakar dan komponen struktur bahan bakar[9]. Oleh karena itu, digunakan mesin las *Orbital Tungsten Inert Gas* (TIG) yang ada pada Gedung 65 Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE).

Pada proses pengisian akhir helium hiperbarik, penguncian, dan pengelasan batang bahan bakar tidak boleh ada udara atmosfer atau gas di sekitarnya yang diizinkan masuk ke bagian dalam batang bahan bakar [10].

Desain batang uji PRTF terdiri dari beberapa komponen seperti pada Gambar 1[1].

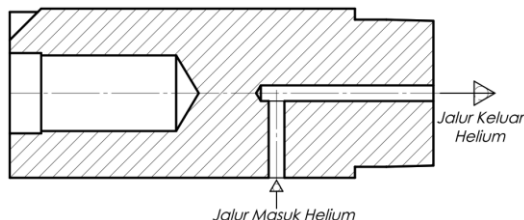


Gambar 1. Desain Batang Uji PRTF[11],[12]

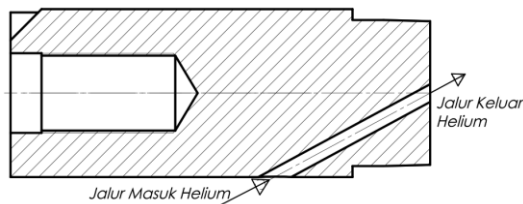
Lubang pengisian gas helium terdapat pada tutup atas batang uji PRTF dengan desain original seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pembuatan lubang diperlukan dua proses yaitu secara vertikal dan horizontal, karena masih menggunakan mesin bor yang membutuhkan bidang datar. Selain itu, diperlukan suatu pengujian untuk memastikan bahwa dua lubang tersebut benar tersambung yang memerlukan lebih banyak waktu. Melalui kerja sama dengan PT ATMI disepakati bahwa modifikasi desain lubang pengisian gas helium menjadi lebih sederhana seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Pada penelitian ini, *Computational Fluid Dynamics* (CFD) digunakan untuk investigasi atau prediksi hasil modifikasi desain terkait dengan aliran gas helium dengan parameter tekanan dan kecepatan yang ditentukan. *Computational Fluid Dynamics* adalah program aplikasi yang

secara matematis dapat mensimulasi bermacam-macam aliran fluida [2],[7]. *Electrical Discharge Machine* (EDM) *drilling* adalah mesin pembuat lubang non konvensional dengan mengerosi material melalui percikan api yang berulang-ulang antara benda kerja dengan kawat elektroda[13],[14]. Penelitian yang diawali dengan pemodelan merupakan metode efektif dan ekonomis untuk mengetahui fenomena yang terjadi dalam suatu proses fisika atau kimia dengan biaya yang relatif murah [15]–[18].



Gambar 2. Desain original lubang pengisian gas helium pada *end plug*

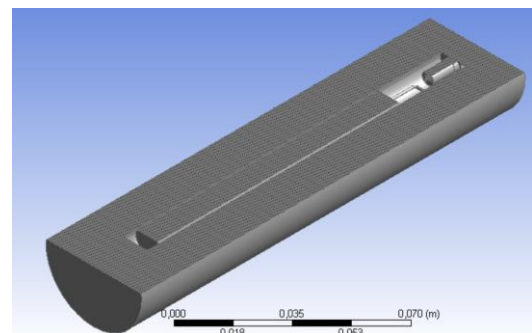


Gambar 3. Desain modifikasi lubang pengisian gas helium pada *end plug*

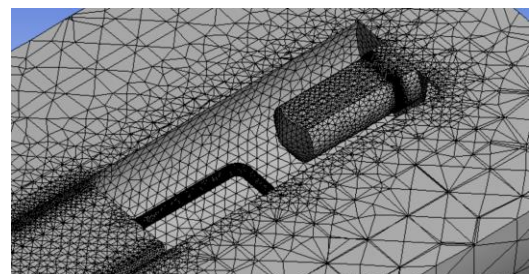
Tiga tahapan yang harus dilakukan pada simulasi menggunakan CFD, yaitu persiapan proses (*preprocessing*), *solving* (*processing*) dan proses akhir (*postprocessing*). Persiapan proses adalah langkah pertama dalam membangun dan menganalisis sebuah model CFD. Teknisnya adalah membuat model dalam paket *Computer Aided Design* (CAD), kemudian dibagi menjadi unit volume atau luas dengan ukuran *mesh* yang sesuai dan menerapkan kondisi batas dan sifat fluida. Tahap kedua *solving* adalah langkah untuk menghitung kondisi proses menggunakan kondisi yang ditetapkan pada persiapan proses. Langkah terakhir adalah *postprocessing* yaitu mengkoordinasi dan interpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa gambar, kurva dan animasi.

METODOLOGI

Untuk menjalankan program CFD terlebih dahulu dibuat model gambar CAD ruangan yang akan diisi gas helium. Model yang dibuat adalah bidang yang akan dilalui gas helium di ruangan las TIG, *end plug*, dan kelongsong. Pellet, *end fitting*, penahan pegas, dan pegas tidak dimodelkan untuk menyederhanakan proses simulasi CFD agar tidak terlalu lama dan simulasi ini fokus pada lubang pengisian gas helium. Empat model yang akan disimulasikan yaitu model desain original dan desain modifikasi dengan tiga variasi lubang yaitu 0,7 mm, 1 mm, dan 1,3 mm. Ditentukan tiga variasi mengikuti diameter lubang pada desain original yaitu 1 mm dan dikarenakan toleransi dari proses pengerjaan pada mesin EDM *drilling* yaitu sebesar 0,3 mm[13]. Proses selanjutnya tentukan *meshing* dari model tersebut untuk perhitungan CFD seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Pada daerah lubang gas helium diatur *meshing* yang lebih detail seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6. Dengan metode *meshing* menggunakan *tetrahedrons* dan algoritma *patch independent*[19].



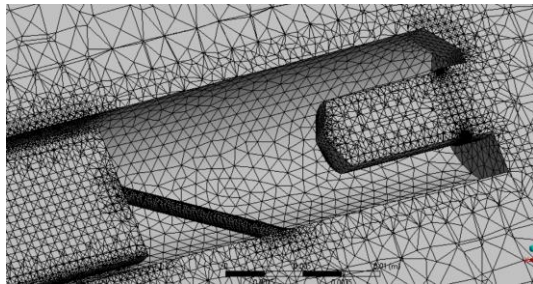
Gambar 4. Model untuk CFD



Gambar 5. *Meshing* untuk model desain original.

Pada *setup* masukan, parameter yang diperlukan untuk simulasi CFD adalah proses *transient* dan model aliran k-epsilon.

Investigasi Modifikasi Lubang Pengisian Gas Helium Pada Desain *End Plug* Batang Uji Bahan Bakar Nuklir Menggunakan Analisis *Computational Fluid Dynamics* (Hanif Ghufro, Shofwan Bahar, Sugeng Rianto, Praditya Vankabo, Gagad Rahmadi, Odi Buana Hutapea, Triarjo, Iwan Setiawan)



Gambar 6. *Meshing* untuk model desain modifikasi

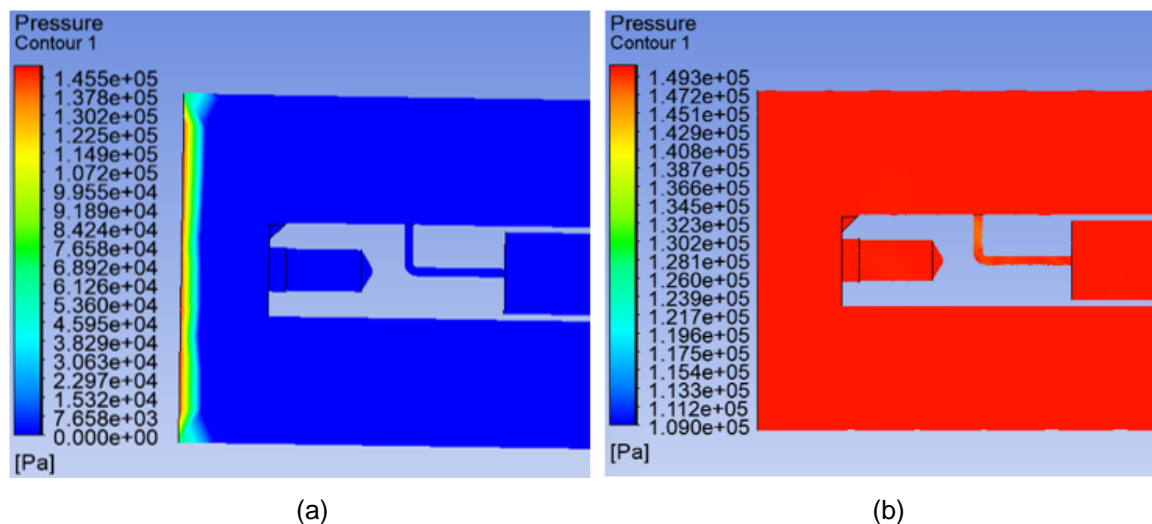
Masukkan material *fluid* yaitu gas helium dan *solid* berupa *steel*. Pada *boundary inlet*, atur tekanan sebesar 1,5 bar dan gravitasi 9,81 m/s². Parameter kondisi simulasi CFD dibuat sama untuk semua variasi termasuk desain original dan hanya berfokus pada ukuran lubang gas helium pada *end plug*.

Hasil perhitungan CFD digunakan untuk memprediksi yang akan terjadi pada aliran gas dalam batang uji PRTF ditinjau dari hukum kekekalan momentum, kekekalan massa, maupun kekekalan energi[19]. Hasil simulasi ini juga akan digunakan untuk

memprediksi apakah model dari desain modifikasi akan mengalirkan gas helium ke dalam kelongsong batang uji dengan tekanan dan kecepatan yang sesuai, sehingga modifikasi desain ini dapat dipakai untuk menggantikan desain original.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kontur tekanan untuk model desain original ditunjukkan pada Gambar 7. Pada Gambar 7(a), kondisi kelongsong masih kosong ditandai dengan warna biru, lalu pada Gambar 7(b), kontur tekanan berwarna jingga menunjukkan gas helium mulai mengisi ke dalam kelongsong dengan tekanan sekitar 1,5 bar pada waktu 4×10^{-4} s. Kontur tekanan untuk model desain modifikasi dengan lubang 1 mm ditunjukkan pada Gambar 8. Pada Gambar 8 (a), kondisi kelongsong masih kosong ditandai dengan warna biru, sedangkan pada Gambar 8 (b), kontur tekanan berwarna jingga menunjukkan bahwa gas helium mulai mengisi ke dalam kelongsong dengan tekanan sekitar 1,5 bar pada waktu 2×10^{-4} s.

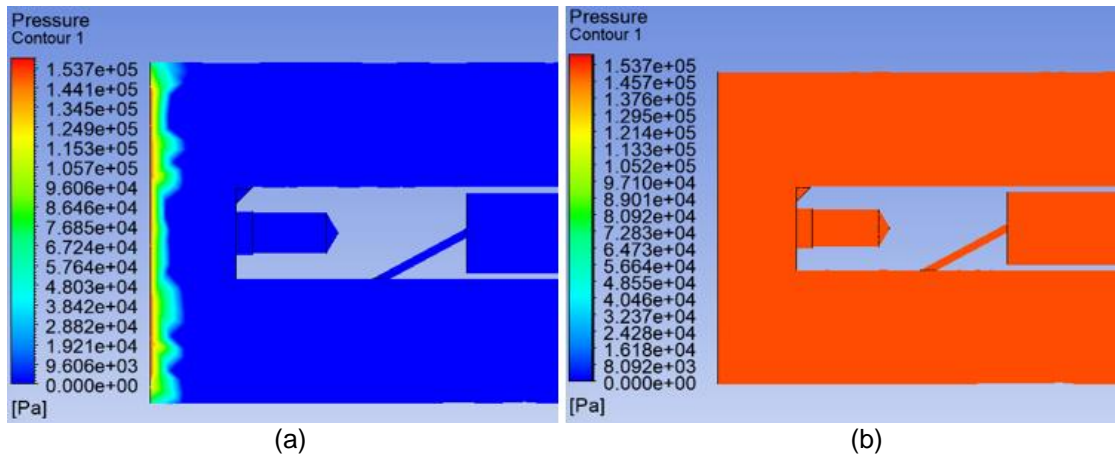


Gambar 7. Kontur tekanan saat $t=0$ s untuk desain original (a); dan kontur tekanan saat $t=4 \times 10^{-4}$ s untuk desain original (b).

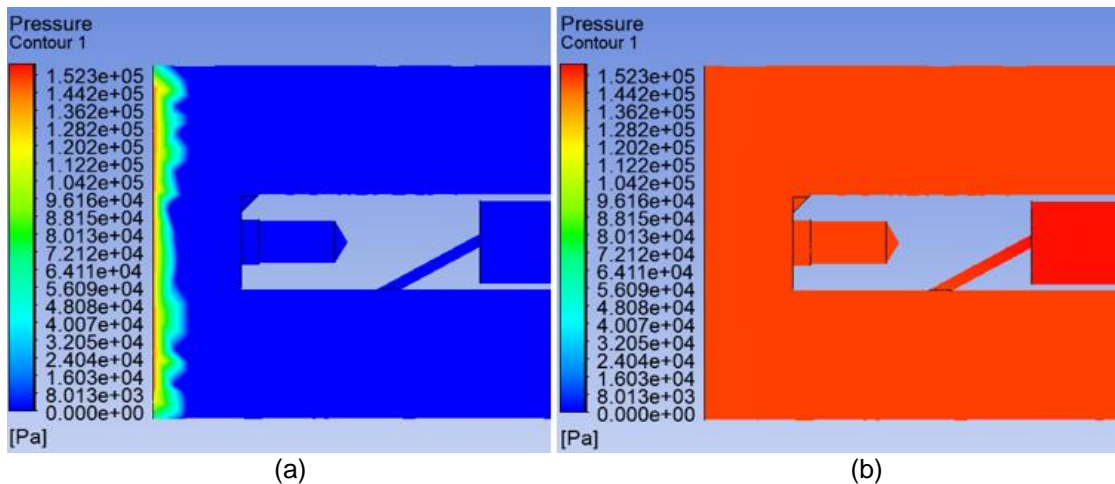
Kontur tekanan untuk model desain modifikasi dengan lubang 1,3 mm ditunjukkan pada Gambar 9, sedangkan kontur tekanan untuk model desain modifikasi dengan lubang 0,7 mm ditunjukkan pada Gambar 10. Secara garis besar hasil simulasi untuk desain modifikasi tidak ada perbedaan yang signifikan baik

dari variasi lubang 0,7 mm, 1 mm, dan 1,3 mm. Terlihat dari warna kontur tekanan pada Gambar 9 (b) dan Gambar 10 (b) menunjukkan gas helium mulai mengisi ke dalam kelongsong dengan tekanan sekitar 1,5 bar pada waktu 2×10^{-4} s, sesuai dengan kondisi yang ditunjukkan pada Gambar 8 (b).

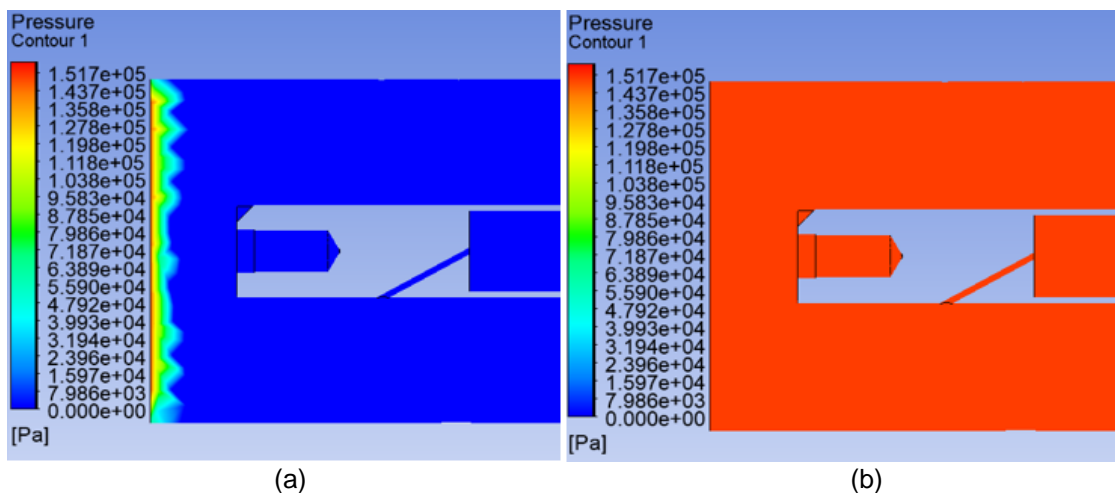
Investigasi Modifikasi Lubang Pengisian Gas Helium Pada Desain *End Plug* Batang Uji Bahan Bakar Nuklir Menggunakan Analisis *Computational Fluid Dynamics*
(Hanif Ghufron, Shofwan Bahar, Sugeng Rianto, Pradiya Vankabo, Gaqad Rahmadi, Odi Buana Hutapea, Triarjo, Iwan Setiawan)



Gambar 8. Kontur tekanan saat $t=0$ s untuk desain modifikasi lubang 1 mm (a); dan kontur tekanan saat $t=2 \times 10^{-4}$ s untuk desain modifikasi lubang 1 mm (b)



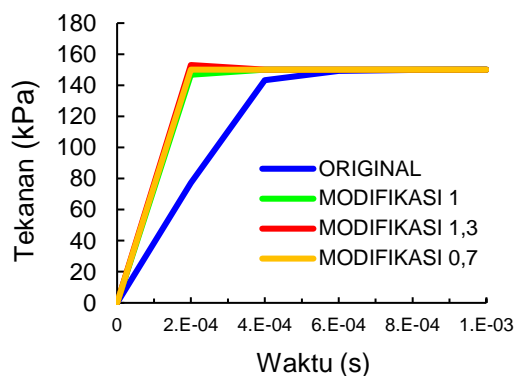
Gambar 9. Kontur tekanan saat $t=0$ s untuk desain modifikasi lubang 1,3 mm (a); kontur tekanan saat $t=2 \times 10^{-4}$ s untuk desain modifikasi lubang 1,3 mm (b).



Gambar 10. Kontur tekanan saat $t=0$ s untuk desain modifikasi lubang 0,7 mm (a); dan kontur tekanan saat $t=2 \times 10^{-4}$ s untuk desain modifikasi lubang 0,7 mm (b).

Investigasi Modifikasi Lubang Pengisian Gas Helium Pada Desain *End Plug* Batang Uji Bahan Bakar Nuklir Menggunakan Analisis *Computational Fluid Dynamics* (Hanif Ghufron, Shofwan Bahar, Sugeng Rianto, Praditya Vankabo, Gagad Rahmadi, Odi Buana Hutapea, Triarjo, Iwan Setiawan)

Hasil proses simulasi CFD yang ditampilkan pada Gambar 11 menunjukkan bahwa aliran gas helium ke dalam kelongsong melalui tiga variasi lubang desain modifikasi lebih cepat sekitar dua kali lipat daripada desain original. Hal ini disebabkan desain modifikasi lubang memiliki bentuk diagonal sehingga memungkinkan gas helium mengalir lebih cepat karena tidak ada hambatan. Desain hasil modifikasi tidak ada perubahan arah aliran, sedangkan pada desain original terdapat perubahan arah aliran yang bisa dianggap sebagai penghambat. Selain itu, grafik pada Gambar 11 juga menunjukkan bahwa desain modifikasi memiliki kestabilan yang sama dengan desain original dalam mempertahankan tekanan gas helium pada tekanan 1,5 bar.



Gambar 11. Hasil simulasi CFD

Hasil simulasi CFD ini memperlihatkan bahwa desain modifikasi lubang pengisian gas helium pada *end plug* aman dan memenuhi syarat untuk menggantikan desain original. Bahkan desain modifikasi lebih baik dalam mengalirkan gas helium dibanding desain original. Dan dari hasil simulasi menunjukkan bahwa besar diameter lubang pengisian gas helium 1 mm dengan toleransi dari operasi EDM *drilling* dengan toleransi $\pm 0,3$ mm bisa digunakan karena perbedaan pengaruh dalam pengisian gas helium tidak terlalu signifikan dan masih aman.

SIMPULAN

Hasil investigasi menggunakan metode CFD memperlihatkan bahwa desain modifikasi lubang pengisian gas helium pada *end plug* dapat diterapkan pada desain *end plug* dan memiliki keunggulan pengisian gas helium lebih cepat dua kali lipat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada bapak Yatno Dwi Agus Susanto yang hingga menjelang memasuki masa purna bakti masih berkenan berkontribusi dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. T. Yulianto, Torowati, D. Mustika, and M. Sholikhah, "Perakitan pin uji bahan bakar PWR dengan UO_2 diperkaya," *Hasil-Hasil Penelit. EBN Tahun*, vol. 1, no. 1, pp. 43–51, 2018.
- [2]. E. Mutiara, W. Dewayatna, and T. Yulianto, "Pemodelan dan simulasi kinerja pin uji bahan bakar PWR dengan UO_2 diperkaya," *Urania J. Ilm. Daur Bahan Bakar Nukl.*, vol. 25, no. 3, pp. 193–204, 2019, doi: 10.17146/urania.2019.25.3.5692.
- [3]. Z. Yidong, Z. Peisheng, Z. Aimi, and Y. Wang, "Power ramp testing method for PWR fuel rod at research reactor," *Jaeri*, pp. 51–53, 2003.
- [4]. O. E. Fadli, A. Khakim, S. Suharyana, and A. Suparmi, "Safety analysis of Indonesia's Multipurpose Reactor during irradiation of natural UO_2 pin target at Power Ramp Test Facility," *J. Nucl. Eng. Radiat. Sci.*, vol. 7, no. 3, Apr. 2021, doi: 10.1115/1.4048904.
- [5]. S. Pinem, W. Luthfi, D. Hartanto, and P. H. Liem, "Control rods' position history effect on the Indonesian multipurpose research reactor RSG-GAS operation and safety parameters," *Prog. Nucl. Energy*, vol. 156, no. May 2022, p. 104552, 2023, doi: 10.1016/j.pnucene.2022.104552.
- [6]. Anonymous, "Power Ramp Test and Related Facilities."
- [7]. Suwardi, W. Dewayatna, Sungkono, Ridwan, and M. Rifai, "Model simulation of geometry and stress-strain variation of Batan fuel pin prototype during irradiation test in RSG-GAS Reactor," *Urania J. Ilm. Daur Bahan Bakar Nukl.*, vol. 21, no. 1, pp. 39–46, 2015, doi: 10.17146/urania.2015.21.1.2259.
- [8]. J. H. Davies, J. S. Armijo, R. A. Proebstle, G. R. Parkos, and G. Electric, "Power ramp tests of potential PCI remedies," *Gen. Electr. Co. Nucl. Technol. Dep.*
- [9]. C. Joung, S. Ahn, S. Heo, J. Hong, and

- K. Kim, "Development of welding and instrumentation technology for nuclear fuel test rod," pp. 24–25, 2013.
- [10]. S. Borell and T. Rostvall, "Method of laser welding A nuclear fuel rod," *Int. Appl. Publ. Under Pat. Coop. Treaty*, 2012.
- [11]. E. Umar, S. Hidayat, and Gandana, "Pengaruh arus las terhadap lebar daerah pengaruh panas pada pengelasan tutup kelongsong dengan kelongsong batang elemen bakar nuklir," *Semin. Sains dan Teknol. Nukl. PPTN- BATAN*, 1993.
- [12]. Gandana, E. Umar, and S. Hidayat, "Pembuatan batang elemen nuklir untuk PRTF RSG - GAS," *Semin. Pendayagunaan Reakt. Nukl. Untuk Kesejaht. Masy.*, 1990.
- [13]. M. Manikandan, S. Arun, B. Kuriachen, and J. Mathew, "Materials today: Proceedings comparative study of micro-die sink and micro-EDM drilled holes for electrode wear and surface roughness," *Mater. Today Proc.*, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.07.139.
- [14]. F. Rachman, T. A. Setiawan, B. Wiro, and R. Aris, "Optimasi setting parameter Electrical Discharge Machining (EDM) terhadap waktu pengerjaan material SKD 11 dengan metode Taguchi," *J. Master PPNS*, vol. 4, no. 1, pp. 49–54, 2019, [Online]. Available: <http://journal.ppns.ac.id/index.php/SeminARMASTER>.
- [15]. S. Ahmed, A. Hassan, R. Zubair, S. Rashid, and A. Ullah, "Design modification in an industrial multistage orifice to avoid cavitation using CFD simulation," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 148, no. March, p. 104833, 2023, doi: 10.1016/j.jtice.2023.104833.
- [16]. P. Kumar, A. Thakur, S. K. Saha, A. Sharma, D. Sharma, and P. Chaudhuri, "CFD investigation of helium gas flow in sphere packed (Pebble bed) in a rectangular canister using OpenFOAM," *Fusion Eng. Des.*, vol. 172, no. August, 2021, doi: 10.1016/j.fusengdes.2021.112858.
- [17]. A. Oamjee and R. Sadanandan, "Suitability of helium gas as surrogate fuel for hydrogen in H₂-Air non-reactive supersonic mixing studies," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 47, no. 15, pp. 9408–9421, 2022, doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.01.022.
- [18]. H. S. Mujtaba, T. Feroze, A. Hanan, and H. A. Shams, "A CFD investigation of the design variables affecting the performance of finned-tube heat exchangers," *J. Therm. Eng.*, vol. 9, no. 4, pp. 1041–1052, 2023, doi: 10.18186/thermal.1333937.
- [19]. S. Sukarsono, L. Harmianto, M. A. Wasitho, S. Sudibyso, and D. Purwadi, "Variasi kecepatan alir gas pada proses pelapisan kernel UO₂ dengan Computational Fluid Dynamic (CFD)," *GANENDRA Maj. IPTEK Nukl.*, vol. 15, no. 1, pp. 7–20, 2012, doi: 10.17146/gnd.2012.15.1.21.