



ANALISIS TERMOHIDROLIK TEMPAT PENYIMPANAN BAHAN BAKAR DI BULK SHIELDING MENGGUNAKAN CFD FLUENT

Tri Nugroho Hadi Susanto, Sigit Pramana

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN, Yogyakarta

Email : ptapb@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS TERMOHIDROLIK TEMPAT PENYIMPANAN BAHAN BAKAR DI BULK SHIELDING MENGGUNAKAN CFD FLUENT. Telah dilakukan kajian termohidrolik pada tempat penyimpanan bahan bakar Reaktor Triga Mark II untuk memastikan kemampuan air mendinginkan bahan bakar pada fasilitas wadah bahan bakar di bulk shielding. Metodologi penyelesaian menggunakan sumber daya termal berdasarkan reaktor yang dioperasikan pada daya 115 kW (daya termal 1.7 kW per elemen bahan bakar) untuk waktu iradiasi 10000 hari sehingga mencapai burn up 50%. Satu elemen yang mempunyai kandungan U235 tertinggi 38.51 gr dipergunakan sebagai dasar daya termal 77 buah bahan bakar. Panas atau daya termal dari 77 bahan bakar digunakan sebagai dasar beban pendinginan yang harus didinginkan oleh air pada fasilitas wadah bahan bakar di bulk shielding. Perhitungan perangkat lunak CFD Fluent menunjukkan suhu bahan bakar pada daya termal maksimal yang dihasilkan oleh bahan bakar di bulk shielding saat steady state sebesar 54.9 °C (mode laminar) dan 50.1 °C (mode turbulen), sehingga dapat disimpulkan bahwa fasilitas wadah bahan bakar tersebut mampu untuk mendinginkan beban panas 77 bahan bakar.

Kata kunci : bulk shielding, fluent

ABSTRACT

THERMOHYDRAULICS ANALYSIS ON FUEL STORAGE PLACE IN BULK SHIELDING USING CFD FLUENT. Thermohidrolik studies have been conducted in the fuel storage area TRIGA Mark II reactor to ensure the ability of water to cool the fuel in the fuel container facilities at the bulk shielding. Completion methodology uses resources based thermal power reactors operated at 115 kW (1.7 kW of thermal power per fuel element) for irradiation time of 10 000 days so it will reach 50% burn up. One element that has the highest content of 38.51 grams of U235 is used as the basis of a thermal power 77 pieces of fuel. Heat or thermal power of 77 is used as the base fuel load to be cooled by cooling water in the fuel container facility at the bulk shielding. Fluent CFD software calculation shows the fuel temperature at the maximum thermal power generated by the fuel in bulk shielding current steady state of 54.9 °C (laminar mode) and 50.1 °C (turbulent mode), so it can be concluded that the fuel container facility is able to cool the heat load of fuel 77.

Key words : bulk shielding, fluent

PENDAHULUAN

Reaktor Kartini merupakan reaktor nuklir jenis TRIGA MARK II yang digunakan untuk keperluan iradiasi, analisis NAA, eksperimen dan latihan personal. Dalam kaitannya dengan iradiasi dan analisis NAA, Reaktor Kartini memiliki beberapa fasilitas iradiasi dalam berbagai fungsi antara lain : *thermal column*, *thermalizing column*, tabung berkas neutron (*beamport*), *central timble*,

rak putar (Lazy Suzan), dan *pneumatic transfer system*. Sedangkan fasilitas *bulk shielding* berkaitan dengan eksperimen perisai. Dalam perkembangannya, reaktor Kartini telah mengalami perubahan atau modifikasi sehubungan dengan keperluan eksperimen maupun keselamatan. Salah satu bagian yang mengalami modifikasi terkait keselamatan adalah fasilitas *bulk shielding*.

Bulk shielding adalah suatu fasilitas di reaktor Kartini yang digunakan untuk eksperimen



**PROSIDING SEMINAR
PENELITIAN DAN PENGELOLAAN PERANGKAT NUKLIR
Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan
Yogyakarta, 26 September 2012**

perisai yang berupa kolam berisi air yang mempunyai kedalaman 3,80 meter, lebar 2,40 meter dan panjang 2,65 meter.^[1] Fungsi lain dari bulk shielding adalah untuk menyimpan bahan bakar teriradiasi yang sifatnya sementara.

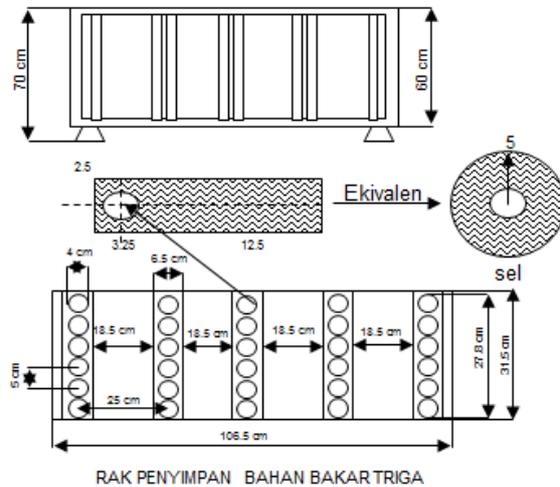
Berdasarkan pengamatan, pemeriksaan serta analisis, adanya air di *bulk shielding* dalam waktu yang lama akan mempengaruhi struktur dan fasilitas lain di Reaktor Kartini. Bukti yang paling nyata adalah adanya air di dalam *thermalizing column* akibat rembesan air dari bulk shielding. Hal lain yang menjadi dugaan adalah pengaruh rembesan air ini menimbulkan adanya korosi pada struktur dinding reaktor sehingga menimbulkan *swelling* (benjolan) pada tangki reaktor. Atas dasar ini diperlukan adanya modifikasi *bulk shielding* dengan memberikan *liner* aluminium berupa bak air untuk menjaga dinding beton kolam *bulk shielding* tetap kering.

Terkait fungsi *bulk shielding* sebagai tempat penyimpanan bahan bakar bekas, maka kapasitas pendinginan bahan bakar oleh air dalam *bulk shielding* harus terpenuhi sesuai dengan jumlah bahan bakar yang dimiliki. *Bulk shielding* sebelum modifikasi telah di desain oleh *General Atomic* sesuai dengan beban pendinginan bahan bakar dari panas peluruhan gamma. *Bulk shielding* dengan modifikasi *liner* berukuran 112 cm x 230 cm x 374 cm, hal ini berarti ukurannya menjadi kira-kira separuh dari ukuran semula.

Bapeten sebagai pengawas instalasi nuklir seperti Reaktor Kartini dalam Perka no 2 tahun 2011 pasal 46 memberikan ketentuan bahwa Pemegang Izin (PI) harus melakukan analisis keselamatan dan menyampaikan desain terkait modifikasi struktur, sistem dan komponen yang penting untuk keselamatan.^[2] Sesuai dengan ketentuan tersebut maka Pemegang Izin Reaktor Kartini membuat kajian keselamatan yang meliputi aspek neutronik, termohidrolik, radiasi, dan seismik terkait modifikasi tersebut. Dalam makalah ini hanya akan dibahas tentang aspek termohidrolik saja.

Bahan bakar bekas atau teriradiasi di *bulk shielding* ditempatkan dalam rak khusus yang berukuran 106,5 cm x 60 cm x 31,5 cm. Dalam Gambar 1 dapat dilihat secara detail bentuk susunan bahan bakar tersebut.

Pada simulasi menggunakan fluent, bahan bakar ditempatkan pada rak bahan bakar dengan ukuran 106,5 cm x 60 cm x 31,5 cm yang dimasukkan ke dalam *bulk shielding* berukuran 112 cm x 230 cm x 374 cm. Simulasi dilakukan dengan asumsi sejumlah 77 bahan bakar yang telah mengalami irradiasi pada saat reaktor telah dioperasikan selama 10000 hari pada daya 115 kW dan mengalami *burn up* sebanyak 50%. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan ORIGEN2 daya termal dari seluruh bahan bakar terirradiasi didapatkan data yang disajikan pada Tabel 1.^[3]



Gambar 1. Rak sebagai tempat bahan bakar dan ekivalensi jari-jari sel

Asumsi perhitungan sebagai sumber panas adalah sejumlah 77 buah bahan bakar yang telah terirradiasi dengan *burn-up* 50% dan mempunyai daya termal 5359.97 Watt dari panas gamma. Dengan setiap elemen mempunyai luasan pertukaran panas sebesar :

$$A_f = 2 \pi r_{cl} L = 2 \times \pi \times 1.867 \times 38.1 = 446.94 \text{ cm}^2$$

Atau untuk 77 elemen bahan bakar menjadi :

$$A = 77 \times 446.94 = 34414.38 \text{ cm}^2 = 3.442 \text{ m}^2$$

Sehingga panas termal per satuan luasan menjadi :

$q'' = 1557.225 \text{ Watt/m}^2$

Data panas per satuan luas pada daya termal selanjutnya dapat dihitung dengan cara yang sama sehingga menghasilkan data yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Daya termal 77 elemen bahan bakar (watt)

| 10000 hari | Daya termal selanjutnya setelah irradiasi 10000 hari | | | | | | | | | |
|------------|--|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 MI | 3 MI | 10 MI | 30 MI | 1 HR | 3 HR | 10 HR | 1 D | 3 D | 10 D |
| 5359.97 | 2952.95 | 2353.12 | 1836.45 | 1404.48 | 1141.14 | 802.34 | 549.55 | 421.81 | 317.39 | 232.16 |

MI: menit; HR: jam; D: hari.



Tabel 2. Panas termal per satuan luas elemen bahan bakar/ fluks panas (watt/ m²)

| 10000 hari | Panas termal/ luasan selanjutnya setelah irradiasi 10000 hari (Watt/ m ²) | | | | | | | | | |
|------------|---|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| | 1 MI | 3 MI | 10 MI | 30 MI | 1 HR | 3 HR | 10 HR | 1 D | 3 D | 10 D |
| 1557.48 | 858.057 | 683.7607 | 533.6287 | 408.1085 | 331.588 | 233.141 | 159.686 | 122.568 | 92.226 | 67.443 |

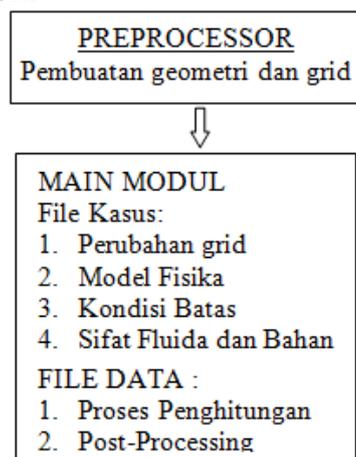
Dengan data di atas akan disimulasikan distribusi temperatur dan pola aliran pendingin pada *bulk shielding* menggunakan FLUENT dengan variasi laju alir pada setiap variasi panas termal per satuan luas. Air pendingin diasumsikan berada pada kondisi suhu 30 °C.

FLUENT

Paket program FLUENT terdiri dari dua program yaitu :

1. GAMBIT sebagai *preprocessor*
2. FLUENT sebagai modul utama.

File Grid



Gambar 2. Diagram hubungan GAMBIT dengan FLUENT

Preprocessor GAMBIT digunakan untuk membangun atau mendesain geometri berdasarkan data-data dimensi geometri yang ada. Sedangkan modul utama FLUENT digunakan untuk melakukan proses eksekusi hitungan.^[4]

GAMBIT merupakan singkatan dari *Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*. GAMBIT diproduksi oleh Fluent Inc., salah satu produsen perangkat lunak (*software*) analisis komputasi fluida dinamik (*Computational Fluid Dynamics*) yang menguasai 60 % pangsa pasar dunia untuk perangkat lunak (*software*) CFD.

Perangkat lunak (*software*) GAMBIT merupakan salah satu *preprocessor* yang didesain untuk membantu membuat model dan melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model untuk analisis CFD. Karena menggunakan *Graphical User Interface* (GUI) saat penerimaan *input*, GAMBIT memudahkan penggunaanya dalam pembuatan model dan proses *meshing*. GAMBIT dapat

mengakomodasi berbagai macam aplikasi pemodelan dan mengimpor dari berbagai format, seperti ACIS, STEP, Parasolid, IGES, dan lain-lain, sehingga membuat pemodelan yang dilakukan lebih fleksibel, dapat digabungkan dengan berbagai format *software* pemodelan lain.

GAMBIT dapat membuat model dan melakukan proses *meshing* untuk berbagai macam bentuk, termasuk bentuk-bentuk yang rumit dan tidak beraturan. Hal ini dikarenakan GAMBIT dapat melakukan *meshing* dengan berbagai macam bentuk *mesh*, yaitu *mesh* heksahedral terstruktur dan tidak terstruktur, tetrahedral, piramid, dan prisma.

Selain itu, GAMBIT juga dapat melakukan pemeriksaan kualitas *mesh* sesuai dengan standar yang diinginkan. Tahap pemodelan terakhir pada GAMBIT adalah proses penentuan jenis kondisi batas. *Mesh* yang telah dibuat pada GAMBIT dapat diekspor ke semua *solver* FLUENT, termasuk FIDAP dan POLYFLOW.

FLUENT adalah salah satu jenis program CFD (*Computational Fluid Dynamics*) yang menggunakan metode volume hingga. FLUENT menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh* (*grid*) yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah. Jenis *mesh* yang didukung oleh FLUENT adalah tipe 2D *triangular-quadrilateral*, 3D *tetrahedral-hexahedral-pyramid-wedge*, dan *mesh* campuran (*hybrid*).

FLUENT ditulis dalam bahasa C, sehingga memiliki struktur data yang efisien dan lebih fleksibel. FLUENT juga dapat digunakan bersama dengan arsitektur klien/server, sehingga dapat dijalankan sebagai proses terpisah secara simultan pada *client desktop workstation* dan *computer server*. Semua hasil yang dibutuhkan untuk menghitung suatu solusi dan menampilkan hasilnya dapat diakses pada FLUENT melalui *menu* yang interaktif. Pengguna yang telah mahir dapat mengubah dan meningkatkan *interface* FLUENT dengan menulis *menu macros* dan fungsi.

Dalam dunia industri, FLUENT sering digunakan untuk membuat desain suatu sistem fluida dan juga untuk mencari sumber atau analisis kegagalan suatu sistem fluida.^[5]

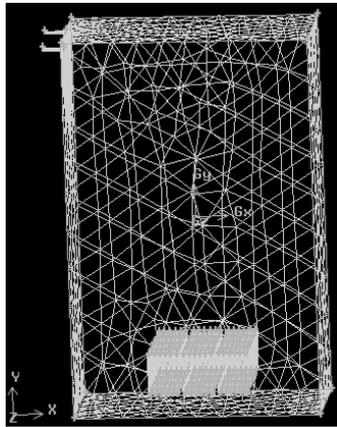
TATA KERJA

Untuk simulasi dengan FLUENT diawali dengan menggambar model dengan menggunakan *software* Gambit dengan langkah sebagai berikut:



PROSIDING SEMINAR
PENELITIAN DAN PENGELOLAAN PERANGKAT NUKLIR
Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan
Yogyakarta, 26 September 2012

1. Menggambar *bulk shielding* dengan ukuran 106,5 cm x 60 cm x 31,5 cm.
2. Menggambar bahan bakar sebanyak 77 buah dengan ukuran tinggi 38,1 cm dan jari-jari 1,95 cm.
3. Menggambar pipa *inlet* dan *outlet* pendingin
4. Membuat *mesh* pada model, Ukuran *mesh volume* pada geometri *bulk shielding* adalah 15 *interval count* dengan jumlah mesh adalah 134895. Ukuran *mesh face* pada bahan bakar adalah 7 *interval count* dengan jumlah *mesh* rata rata adalah 374.
5. Menentukan tipe batas model. Geometri *bulk shielding* dan bahan bakar menggunakan tipe *wall*, pipa *inlet* menggunakan *velocity inlet* dan pipa *outlet* menggunakan *outflow*. *Export* file model dalam bentuk *mesh*.



Gambar 3. Gambar mesh *bulk shielding* di Gambit.

Selanjutnya untuk melakukan proses perhitungan dilakukan dengan *software* FLUENT dengan langkah sebagai berikut :

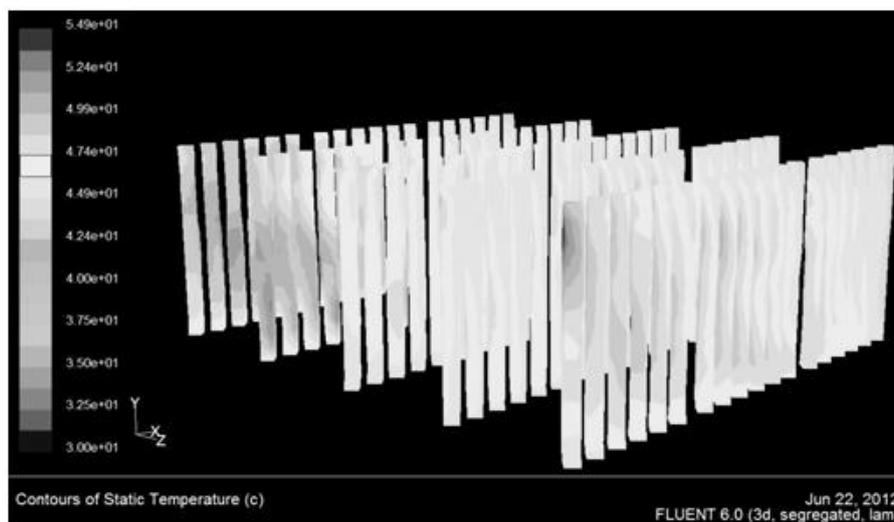
1. Mendefinisikan model (*solver, viscous, energy*)
2. Mendefinisikan material
3. Mendefinisikan kondisi operasi
4. Mendefinisikan batas operasi
5. Menghitung/ proses eksekusi data.

Proses penghitungan diulang dengan memberikan variasi pada laju alir pipa *inlet* sebesar 0.3 m/s^2 dan 1.2 m/s^2 untuk tiap-tiap variasi panas termal per satuan luas (fluks panas) baik pada mode laminar maupun turbulen.

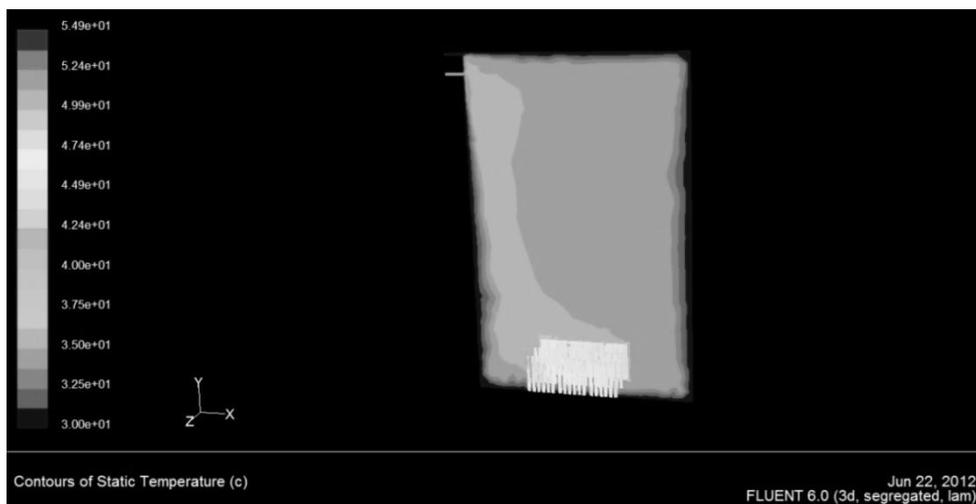
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari proses perhitungan dengan FLUENT menghasilkan distribusi suhu pada permukaan kelongsong bahan bakar seperti yang ditampilkan pada Gambar 4. Gambar 4 memperlihatkan distribusi temperatur permukaan kelongsong bahan bakar pada variasi fluks panas $1557.48 \text{ Watt/ m}^2$ dan laju alir pendingin 0.3 m/s , terlihat bahwa suhu maksimum sebesar $54.9 \text{ }^\circ\text{C}$. Distribusi temperatur fluida pendingin yang tercantum pada Gambar 5 berkisar antara $30\text{-}35 \text{ }^\circ\text{C}$, kecepatan dan pola aliran fluida pendingin tersaji pada Gambar 6, dan Gambar 7.

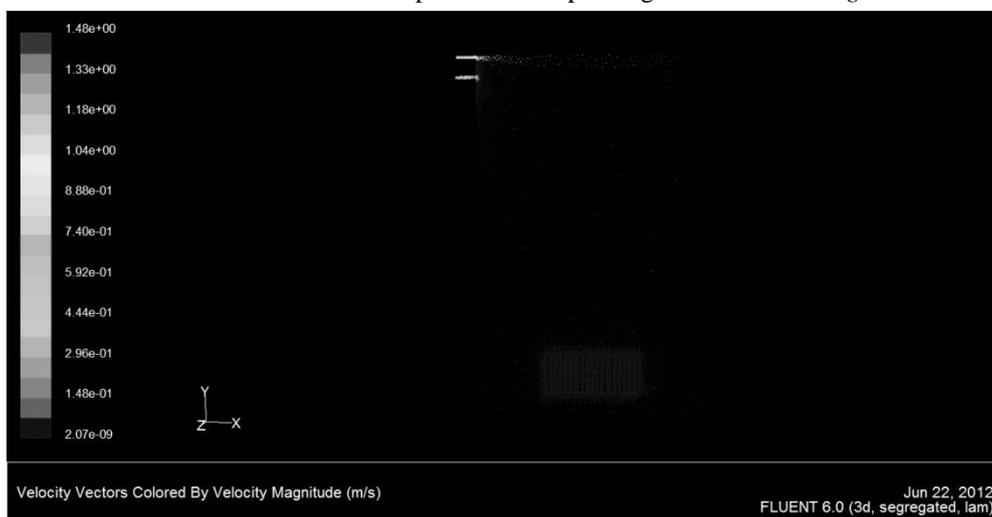
Perhitungan dengan menggunakan FLUENT ini diasumsikan dalam keadaan *steady state* yang bersifat konservatif bahwa bahan bakar terus menerus memberikan besar fluks panas yang sama, padahal pada keadaan sebenarnya panas bahan bakar yang telah ditempatkan di *bulk shielding* akan menurun seiring dengan peluruhan panas gammanya, hal ini disebabkan bahan bakar di *bulk shielding* tidak lagi terjadi reaksi fisi. Dengan demikian asumsi yang konservatif ini akan memberikan keadaan yang lebih aman.



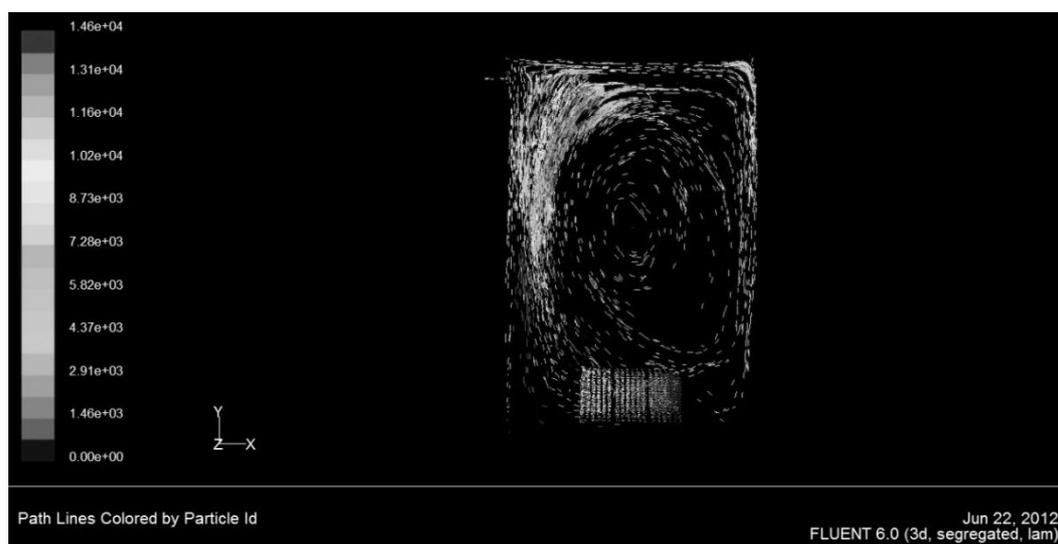
Gambar 4. Hasil distribusi temperatur permukaan kelongsong bahan bakar dalam wadah penyimpanan bahan bakar di *bulk shielding*.



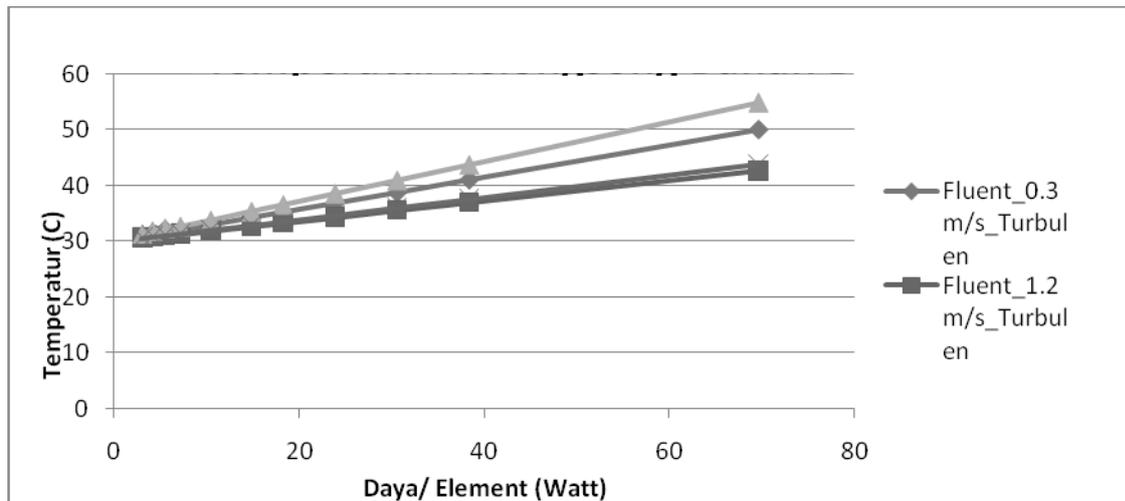
Gambar 5. Distribusi temperatur fluida pendingin di *bulk shielding*.



Gambar 6. Distribusi kecepatan fluida pendingin di *bulk shielding*.



Gambar 7. Jalur aliran (*path line*) fluida pendingin di *bulk shielding*



Gambar 8. Temperatur kelongsong bahan bakar dalam wadah bahan bakar di *bulk shielding* secara analitik (konveksi alam) dan perhitungan dengan FLUENT (dengan variasi laju alir dan rezim aliran).

KESIMPULAN

Dari perhitungan menggunakan paket program FLUENT diperoleh hasil temperatur bahan bakar mengalami penurunan menuju temperatur pendinginnya dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tempat penyimpanan bahan bakar bekas di *bulk shielding* tersebut telah memenuhi kapasitas yang diperlukan untuk mendinginkan 77 bahan bakar. Sehingga modifikasi *bulk shielding* dari sisi keselamatan termohidrolik dapat diterima.

DAFTAR PUSTAKA

1. BIDANG REAKTOR. (2010), *LAK Revisi 7 Reaktor Kartini*. Yogyakarta
2. BAPETEN. (2011), *Perka No 2 tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Non Daya*. Jakarta.
3. BIDANG REAKTOR. (2012), *Modifikasi Tempat Penyimpan Bahan Bakar Bekas Di Bulk Shielding Reaktor Kartini*. Yogyakarta.
4. PRATAMA, NIKI. (2010), *Simulasi Distribusi Suhu Pada Teras Reaktor Kartini Yogyakarta Berbasis CFD*. Yogyakarta.
5. TUAKIA, FIRMAN. (2008), *Dasar-Dasar CFD Menggunakan FLUENT*. Yogyakarta.

TANYA JAWAB

Sunardi

- Pada gambar terakhir ketika diberi beban mlenyok (rusak), tidak kuat menahan beban. Mohon dijelaskan apakah tidak membahayakan?
- Pada rumus ditulis P adalah tekanan dan W juga tekanan, mengapa sama-sama tekanan simbolnya berbeda?

Tri Nugroho HS

- ✧ Untuk gambar terakhir adalah simulasi pembebanan 5000 kali. Simulasi ini hanya untuk menunjukkan bagaimana sebuah material mengalami perubahan bentuk akibat beban yang sangat jauh melebihi batas kekuatannya?
- ✧ Terjadi kesalahan redaksi, bahwa W adalah lambang untuk gaya berat dengan satuan Newton. Sedangkan yang tertulis adalah W merupakan tekanan dengan satuan N/m^2 .

Vemi Ridantam

- Kenapa software yang dipakai CFD fluent? Apa kelebihan fluent dibandingkan software lain?

Tri Nugroho HS

- ✧ Software CFD Fluent sangat mendukung untuk analisis aliran fluida dan termohidrolik, yang memberikan ukuran geometri dan bentuk yang mendetail. CFD juga sangat mendukung untuk geometri 3D.

Eko Edy Karmanto

- Mohon dijelaskan apa kekurangan program fluent dalam aplikasinya untuk pengukuran/perhitungan distribusi panas pada elemen bahan bakar?

Tri Nugroho HS

- ✧ Secara umum program CFD Fluent dapat dipakai salah satunya untuk melakukan distribusi panas. Kekurangannya adalah program tidak memberikan informasi adanya hasil yang salah (secara teori tidak mungkin terjadi) meskipun program/software memberikan nilai output yang konvergen. Sehingga nilai hasil simulasi yang konvergen belum tentu benar.