

## Efek Variasi Air Masukan pada Celah Sempit Rektangular Terhadap Bilangan Reynolds

Saepudin<sup>1,2</sup>, Yogi Sirodz Gaos<sup>2</sup>, Mulya Juarsa<sup>2,3</sup>, Bambang Heru<sup>3</sup>,  
Joko Prasetyo<sup>3</sup>, Hadi Kusuma<sup>3</sup>, Jhon Fredi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor  
Jl. KH. Soleh Iskandar KM.2 Bogor 16162  
[Saepudin\\_aep15@ymail.com](mailto:Saepudin_aep15@ymail.com)

<sup>2</sup>*Engineering Development for  
Energy Conversion and Conservation (EDfEC) Research Laboratory*  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor  
Jl. KH. Soleh Iskandar KM.2 Bogor 16162

<sup>3</sup>Laboratorium Termohidrolika Eksperimental  
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir BATAN  
Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15310 Banten

### Abstrak

Penelitian terkait karakteristik bilangan Reynold pada celah sempit rektangular merupakan aspek yang penting dalam manajemen keselamatan reaktor khususnya saat terjadi kecelakaan reaktor nuklir. Sehingga, penelitian tentang hal tersebut perlu dilakukan agar didapatkan pemahaman yang benar tentang fenomena pendinginannya. Pemahaman yang diperoleh dapat digunakan untuk mengetahui kondisi kecelakaan yang terjadi pada reaktor daya dan reaktor riset. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh karakteristik bilangan Reynold pada celah sempit terhadap variasi temperatur air masukan. Penelitian dilakukan pada kecepatan aliran air masukan untuk proses pendinginan bahan bakar reaktor nuklir pada celah sempit berukuran 2,25 mm pada temperatur awal pelat 30 °C, 3 variasi temperatur air masukan, dan debit aliran air konstan. Eksperimen dilakukan dengan cara menginjeksikan air dengan debit aliran 0,567 l/s dengan variasi temperatur air dari 40°C, 60°C, dan 80°C ke dalam celah sempit rektangular. Data eksperimen direkam dengan menggunakan sistem akuisisi data NI-DAQ dengan laju perekaman 1 data per-detik. Data yang diperoleh digunakan untuk mengetahui karakteristik bilangan Reynolds di dalam celah sempit rektangular, khususnya untuk pembahasan pada debit aliran 0,567 l/s dengan temperatur air 40°C, 60°C, dan 80°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk keadaan pelat dingin dengan air yang dipanaskan, terlihat bahwa bilangan Reynold pada celah semakin meningkat pada debit aliran yang konstan, dengan bilangan Reynolds sebesar 57.999,18 pada temperatur air 80°C dan debit aliran air 0,567 l/s. Persentase bilangan Reynolds untuk temperatur air 40°C didapatkan persentase 0,13% , untuk temperatur air 60°C didapatkan persentase 0,36%, untuk temperatur air 80°C didapatkan persentase 0,51% dengan debit aliran air 0,567 l/s. Sehingga disimpulkan bahwa perubahan temperatur air mempengaruhi perubahan bilangan Reynolds pada celah sempit rektangular.

**Kata kunci:** Reynolds, celah sempit, rektangular, temperatur, karakteristik

### Pendahuluan

Kebutuhan akan energi telah beralih dari kebutuhan sekunder ke kebutuhan primer yang salah satunya adalah kebutuhan terhadap energi listrik, sehingga sangat diperlukan suatu energi alternatif yang dapat memenuhi kebutuhan akan energi listrik

untuk masyarakat. Selama ini sumber energi utama untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dipasok dari energi fosil (Elsa Melfiana dkk,2007). Untuk memenuhi kebutuhan akan energi listrik para ahli telah menciptakan berbagai jenis pembangkit penghasil tenaga listrik dengan cara mengelola berbagai jenis sumber energi untuk dimanfaatkan

menjadi sebuah pembangkit tenaga listrik. Akan tetapi teknologi pembangkit energi tersebut menimbulkan suatu masalah yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan sekitarnya jika dalam pengelolaan dan pengoperasiannya mengalami kesalahan manajemen. Hal ini mendorong untuk membuat suatu terobosan baru dalam menciptakan suatu energi alternatif yang bersifat ramah lingkungan, efisien, dan terbarukan, diantaranya adalah pembuatan suatu pembangkit yang menggunakan tenaga nuklir (Midiana Ariethia dkk, 2011).

Tenaga nuklir merupakan salah satu energi alternatif sebagai pengganti energi jenis lain yang sangat dibutuhkan, begitu pula aplikasi teknologi nuklir dan pengetahuan akan nuklir semakin banyak diperlukan untuk kemajuan dan kemakmuran bangsa serta dapat mencukupi akan kebutuhan energi listrik (Jaja Sukmana dkk, 2008). Untuk itu penguasaan terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) salah satunya memerlukan fasilitas untuk penelitian dan pengembangan terkait teknologi PLTN, khususnya untuk meningkatkan performa keselamatannya. Salah satu fasilitas penelitian untuk meneliti sistem keselamatan PLTN juga ada pada desain reaktor riset. Fasilitas reaktor riset serba guna digunakan selain untuk kegiatan-kegiatan penelitian di bidang ilmu dan teknologi nuklir juga untuk melayani kegiatan iradiasi nuklir. Penelitian di bidang teknologi nuklir dititik beratkan pada penelitian di bidang bahan bakar nuklir, fisika reaktor, termohidraulika, dan pelatihan teknisi reaktor. Sedangkan pelayanan kegiatan iradiasi nuklir dilakukan untuk penelitian uji material dan produksi isotop (<http://www.batan.go.id/prsg>). Salah satu reaktor riset yang terdapat di Indonesia yaitu Reaktor Serba Guna G.A Siwabessy (RSG-GAS) yang dioperasikan oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) di kawasan PUSPITEK Serpong. Reaktor riset RSG-GAS menggunakan bahan bakar uranium  $U_3O_8/Al$  atau  $U_3Si/Al$  untuk operasinya dan menggunakan air ringan ( $H_2O$ ) sebagai teras. Perangkat elemen bakar pada RSG-GAS berbentuk pelat yang disusun membentuk suatu perangkat, dimana diantara pelat membentuk celah rectangular dengan ukuran celah 2,25 mm. Aliran untuk proses an reaktor akan mengalir melalui celah tersebut.

Pemahaman yang lebih mendalam terkait dengan karakteristik pola kecepatan aliran dan an pada elemen bakar tersebut agar temperatur pelat elemen bakar tidak melebihi batas operasinya. Sehingga penelitian secara ekperimental untuk mengkarakterisasi bilangan Reynolds pada celah sempit rectangular diantara pelat elemen bakar RSG-GAS menjadi bagian penting dalam

keselamatan RSG-GAS. Selain untuk menginvestigasi fenomena aliran yang melibatkan dinamika fluida dan efek termal.

Untuk mensimulasikan kondisi aliran, perubahan tekanan dan temperatur di dalam celah sempit rectangular bahan bakar RSG-GAS tidak mungkin dilakukan pada reaktor riset. Sehingga, penggunaan fasilitas bagian uji HeaTiNG-02 (*Heat Transfer in Narrow Gap*) yang merupakan bagian uji untuk mensimulasikan kecelakaan pada reaktor nuklir menjadi solusi. Tujuan penelitian ini yaitu untuk memperoleh karakteristik bilangan Reynolds dan perubahan temperatur air an pada reaktor. Dan juga sebagai korelasi untuk penelitian selanjutnya dari karakteristik perpindahan panas dan bilangan Reynolds pada celah sempit pada HeaTiNG-02 yang disimulasikan sebagai pelat elemen bakar pada Reaktor Serba Guna (RSG).

### Metoda Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan secara eksperimental menggunakan bagian uji HeaTiNG-02 dan untai uji BETA (UUB). Fasilitas UUB merupakan sistem yang mewakili sistem pendingin termohidrolika reaktor. Untuk pembacaan dan perekaman selama eksperimen berlangsung digunakan sistem aqisisi data *National Instrument* (NI-DAQ). Eksperimen dilakukan dengan cara mengalirkan air ke dalam celah sempit rectangular pada HeaTiNG-02 dengan temperatur air yang dikehendaki dari sisi primer UUB.

### Peralatan dan Prosedur Eksperimen

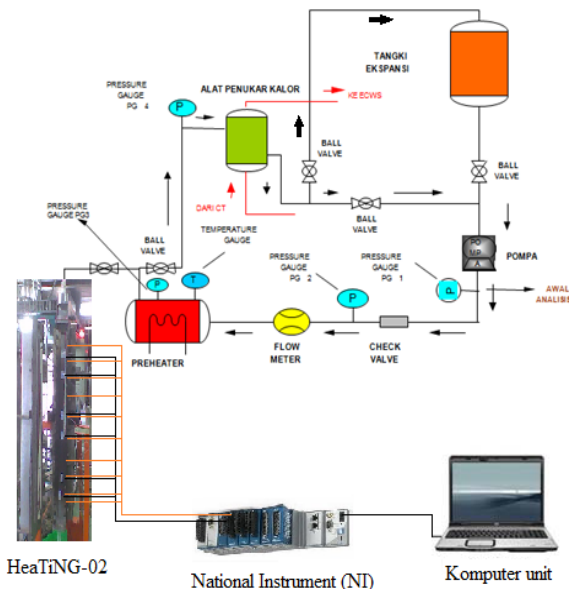
#### Peralatan eksperimen

Eksperimen yang dilakukan berdasarkan variasi temperatur air menggunakan bagian uji yaitu bagian uji HeaTiNG-02 dan Untai Uji BETA. HeaTiNG-02 digunakan untuk eksperimen yang mensimulasikan kecelakaan parah pada teras reaktor nuklir, yang di dalamnya terdapat plat utama dan plat penutup. Pelat utama terbuat dari bahan SS316 dengan jarak antara pelat utama dan pelat penutup ditetapkan 2,25 mm. Dimana pelat utama itu diasumsikan sebagai pelat pada perangkat elemen bakar pada RSG-GAS. Celah pada HeaTiNG-02 diasumsikan sebagai celah antara pelat elemen bakar pada RSG-GAS. Pelat buku dibuat sepasang dan pada salah satu bagian sisinya dipasang engsel untuk dapat dibuka dan ditutup. Bagian kedua sisi pelat buku dipasang kunci agar saat pemanasan berlangsung ekspansi termal dapat tertahan. Komponen HeaTiNG-02 juga terdiri dari kawat *open coil heater* untuk memanaskan pelat. Kejadian pada saat

eksperimen direkam oleh data akuisisi data *National Instrument* (NI-DAQ) yang memiliki 32 kanal untuk merekam temperatur pelat pada saat eksperimen dengan laju perekaman 1 data per-detik. Untuk matriks eksperimen pada eksperimen ini seperti yang direncanakan (seperti ditunjukkan pada Tabel 1) dan skematik eksperimen seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.

**Tabel 1.** Matriks Eksperimen

Ukuran celah (mm)	Temperatur pelat dalam HeaTiNG-02 (°C)	Temperatur air (°C)	Debit air (l/s)
2,25	30	40	0,567
		60	0,567
		40	0,567
		60	0,567



**Gambar 1.** Eksperimental Setup

### Prosedur eksperimen

Pertama kali eksperimen dilakukan dengan mengatur dan menentukan laju rekam data pada program NI-DAQ. Kemudian memanaskan air hingga temperatur air *di loop* Untai Uji BETA yang direncanakan yaitu 40°C, 60°C dan 80°C dengan menggunakan *pre heater*. Apabila temperatur air telah mencapai temperatur yang direncanakan, air dialirkan ke dalam celah rektanguler pada HeaTiNG-02 dengan debit sebesar 0,567 l/s. Perekaman data setelah air masuk ke dalam celah yaitu selama 10 menit. Setelah itu data diolah dan dianalisis menggunakan software *statistic science* Origin 8.

Bilangan Reynold yang diperoleh berdasarkan data

kecepatan air pada saat air dialirkan ke dalam celah HeaTiNG-02 dihitung dengan persamaan berikut :

$$Re = \frac{\rho v D_H}{\mu} \quad (1)$$

dengan,:

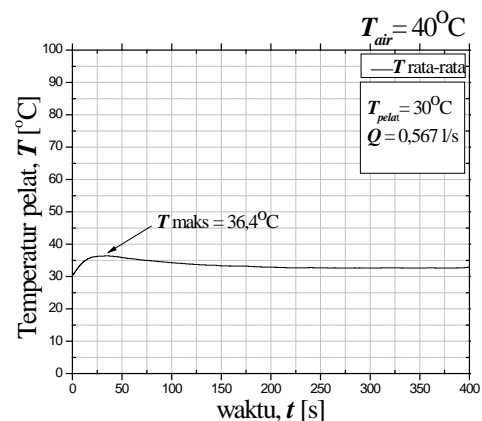
- $v$  : kecepatan fluida yang mengalir (m/s)
- $D_H$  : diameter hidrolis (m)
- $\rho$  : masa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)
- $\mu$  : viskositas dinamik fluida (kg/m.s)

Bilangan Reynold merupakan suatu ukuran perbandingan antara gaya-gaya kelembaman dan kekentalan. Apa bila  $Re$  rendah, efek kental mendominasi dan apabila  $Re$  tinggi efek inersial cenderung ke turbulensi mendominasi proses perpindahan panas (Handono dan Ari Satmoko, 2008). Diakibatkan densitas dan viskositasnya semakin kecil karena temperatur semakin tinggi.

### Hasil dan Pembahasan

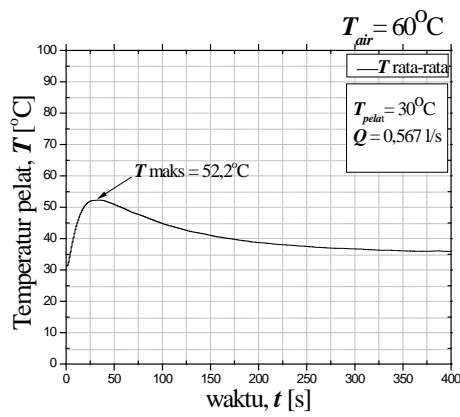
#### Hasil

Pengukuran temperatur transien selama proses pengucuran air dengan variasi temperatur air masukkan yaitu 40°C, 60°C, dan 80°C serta debit aliran air 0,567 l/s yang dialirkan kedalam celah sempit. Temperatur transien selama proses pengucuran ditampilkan berupa kurva transien. Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4 memperlihatkan kurva transien pada temperatur air masukkan 40°C, 60°C dan 80°C. Gambar 2 menunjukkan profil perubahan kecepatan aliran terhadap temperatur pada saat air dialirkan pada HeaTiNG-02 dengan celah 2,25 mm.



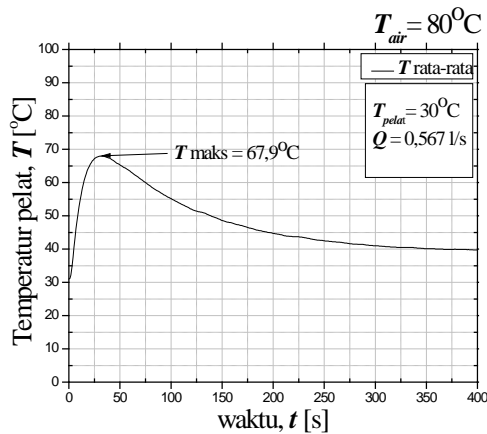
**Gambar 2.** Kurva transien pada temperatur air 40°C

Gambar 3, dari eksperimen yang sudah dilakukan dengan temperatur pelat 30°C, temperatur air an 60°C dan debit aliran air 0,567 l/s serta celah 2,25 didapatkan kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Kurva transien pada temperatur air 60°C

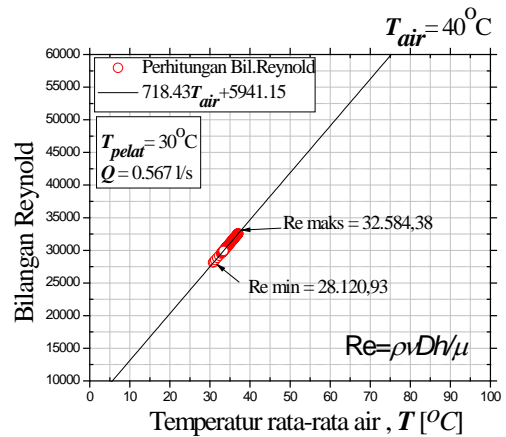
Gambar 4, dari eksperimen yang sudah dilakukan dengan temperatur pelat 30°C, temperatur air masukan 80°C dan debit aliran air 0,567 l/s serta celah 2,25 didapatkan kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Kurva transien pada temperatur air 80°C

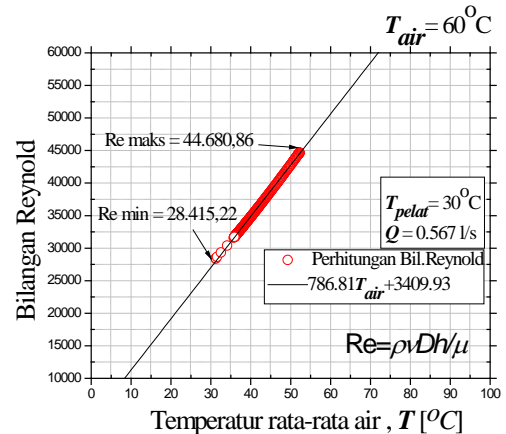
Perubahan temperatur sangat berpengaruh terhadap perubahan bilangan Reynold pada celah sempit. Kecepatan aliran akan semakin cepat apabila temperatur air semakin tinggi. Gambar 5, menunjukkan profil perubahan bilangan Reynold terhadap temperatur pada saat air dialirkan pada HeaTiNG-02 dengan celah 2,25 mm.

Gambar 5, dari eksperimen yang sudah dilakukan dengan temperatur pelat 30°C, temperatur air masukan 40°C dan debit aliran air 0,567 l/s serta celah 2,25 didapatkan kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



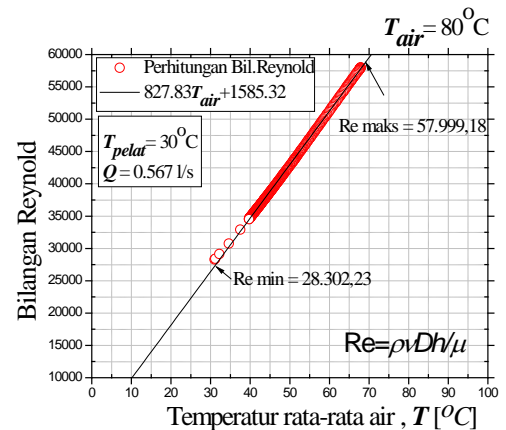
**Gambar 5.** Bilangan Reynolds temperatur air 40°C

Gambar 6, dari eksperimen yang sudah dilakukan dengan temperatur pelat 30°C, temperatur air masukan 60°C dan debit aliran air 0,567 l/s serta celah 2,25 didapatkan kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6** Bilangan Reynolds temperatur air 60°C

Gambar 7, dari eksperimen yang sudah dilakukan dengan temperatur pelat 30°C, temperatur air masukan 80°C dan debit aliran air 0,567 l/s serta celah 2,25 didapatkan kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

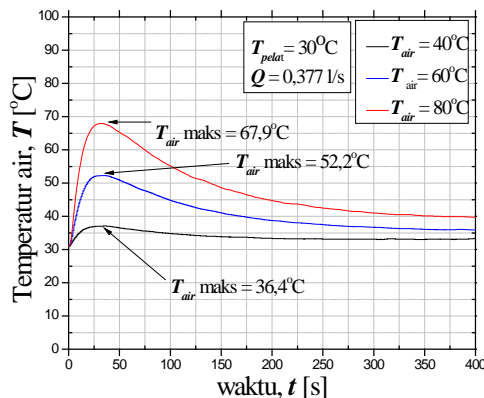


**Gambar 7** Bilangan Reynolds temperatur air 80°C

## Pembahasan

### Pengaruh temperatur terhadap bilangan Reynold

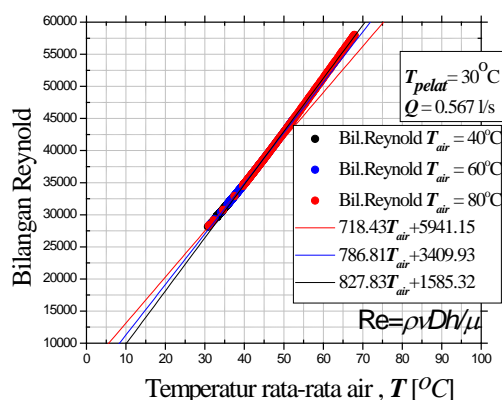
Kurva transien pada saat air dikucurkan ke dalam celah sempit rectangular HeaTiNG-02 pada temperatur pelat 30°C, temperatur air masukan 40°C, 60°C, 80°C serta debit aliran air dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Kurva transien pada temperatur air 40°C, 60°C, 80°C

Kurva transien terlihat pada proses eksperimen, temperatur pelat mengikuti temperatur air sebelum terjadinya penurunan. Kondisi ini terjadi penyerapan kalor oleh pelat pada HeaTiNG-02 terhadap temperatur air. Temperatur air masukan 80°C lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur air masukan 40 dan 60°C.

Kurva bilangan Reynolds terhadap temperature air pada saat air dikucurkan kedalam celah HeaTiNG-02 pada Temperatur pelat 30°C, Temperatur air 40°C, 60°C, 80°C serta debit aliran air dapat dilihat pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Kecepatan aliran pada temperatur air 40°C, 60°C, 80°C

Perubahan temperatur sangat berpengaruh terhadap bilangan Reynold yang terjadi pada saat eksperimen

dilakukan. Bilangan Reynold semakin meningkat apabila temperatur lebih tinggi dengan debit aliran air yang konstan. Seperti pada temperatur pelat 30°C, temperatur air masukan 60°C dan 80°C dengan debit aliran air 0,567 l/s didapat bilangan Reynold lebih besar dibandingkan temperatur air an 40°C.

Bilangan Reynold semakin besar pada temperatur tinggi pada debit air yang konstan. Dikarenakan densitas air semakin kecil apabila temperatur semakin panas serta viskositasnya pun semakin kecil. Terlihat pada Gambar 9 bilangan Reynold yang rapat, hal tersebut terjadi dikarenakan perbedaan temperatur air pada saat terakhir tidak begitu signifikan.

## Kesimpulan

Temperatur sangat berpengaruh terhadap perubahan bilangan Reynold, seperti pada kasus temperatur pelat 30°C temperatur air 80°C dan debit aliran air 0,567 l/s di dapat bilangan Reynold sebesar 57.999,18. Persentase bilangan Reynold untuk temperatur air 40°C didapatkan persentase 0,13% , untuk temperatur air 60°C didapatkan persentase 0,36%, untuk temperatur air 80°C didapatkan persentase 0,51% dengan debit aliran air 0,567 l/s. Sehingga disimpulkan bahwa perubahan temperatur air mempengaruhi perubahan bilangan Reynold pada celah sempit rectangular.

## Ucapan Terima kasih

Terima kasih penulis sampaikan karena rahmat Tuhan Yang Maha Esa, karya tulis ini dapat diselesaikan dan juga terima kasih atas dukungan moral, bimbingan, dan kesempatan yang diberikan kepada kami untuk menggunakan fasilitas eksperimen kepada Kepala Subbidang Termohirolika, Kabid BOFa dan Kepala PTRKN BATAN.

## Nomenklatur

$v$  kecepatan fluida yang mengalir (m/s)  
 $D_H$  diameter hidrolis (m)

## Greek letters

$\rho$  massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\mu$  viskositas dinamik (kg/m.s)

## Referensi

Elsa Melfiana dkk, 'Pengaruh Variasi Temperatur Keluaran Molten Salt Reactor Terhadap Efisiensi Produksi Hidrogen dengan Sistem High Temperatur Electrolisis (THE)', Prosiding Seminar Nasional ke-13 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta

Fasilitas Nuklir ISSN : 0854 – 2910.( 2007)

Handono dan Ari Satmoko, *‘Pengaruh Ukuran Gap Pada Karakteristik Perpindahan Panas Kanal Rektangular Aliran Ke Atas’*, Prosiding Seminar Nasional ke-14 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir ISSN : 0854 – 2910.(2008)

Jaja Sukmana dkk, *‘Identifikasi Source-ter Reaktor Serba Guna-GA. Siwabessy Untuk Keselamatan Operasional’*, Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, ISSN 1978-0176.(2008)

Midiana Ariethia dkk, *‘Kajian Awal Perbandingan Konvensi Terorisme Nuklir Dengan Konvensi Proteksi Fisik Bahan Bakar Nuklir dan Perubahan Konvensi Proteksi Fisik Bahan Nuklir’*, Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir.(2011)

<http://www.batan.go.id/prsg>, diakses pada April 21-2012 16:23