

**EFEK VARIASI TEMPERATUR PELAT  
PADA CELAH SEMPIT REKTANGULAR TERHADAP BILANGAN REYNOLDS**

Saepudin<sup>1,2</sup>, Yogi Sirodz Gaos<sup>2</sup>, Hadi Kusuma<sup>3</sup>, Mulya Juarsa<sup>2,3</sup>,  
Edi Marzuki<sup>2</sup>, Bambang Heru<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor  
Jl. KH. Soleh Iskandar KM.2 Bogor 16162

<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**

**EFEK VARIASI TEMPERATUR PELAT PADA CELAH SEMPIT REKTANGULAR TERHADAP BILANGAN REYNOLDS.** Penelitian terkait manajemen keselamatan reaktor khususnya saat terjadi kecelakaan reaktor nuklir, salah satunya yaitu karakteristik bilangan Reynold pada celah sempit rektangular. Celah sempit yang berbentuk rektangular diasumsikan sebagai celah pada lelehan teras reaktor saat terjadi kecelakaan pada suatu reaktor nuklir. Penelitian tersebut perlu dilakukan untuk memahami fenomena pendinginan pada saat terjadinya kecelakaan pada suatu reaktor. 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 efek variasi temperatur pelat. Penelitian ini dilakukan dengan 3 variasi temperatur pelat 30°C, 40°C, 60°C, dengan temperatur air masukan 40°C dan debit aliran konstan 0,472 L/s pada celah 2,25 mm. Eksperimen dilakukan dengan cara mengalirkan dengan debit aliran air 0,472 L/s dengan tempertur air 40°C kedalam celah sempit rektangular setelah pelat dipanaskan terlebih dahulu. Perekaman data pada saat eksperimen berlangsung dengan menggunakan sistem akuisisi data NI-cDAQ dengan laju perekaman 1 data per-detik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk keadaan pelat yang dipanaskan dengan temperatur air 40°C, terlihat bahwa bilangan Reynold pada celah semakin meningkat pada debit aliran yang konstan. Bilangan Reynolds tertinggi 37553 pada temperatur pelat 60°C, temperatur air 40°C dan debit aliran air 0,472 L/s. Persentase kenaikan bilangan Reynolds pada saat eksperimen untuk temperatur pelat 30°C didapatkan 0,14%, untuk temperatur pelat 40°C didapatkan persentase 0,07%, untuk temperatur pelat 60°C didapatkan persentase 0,24% dengan debit aliran air 0,472 L/s pada temperatur air masukan 40°C. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan temperatur pelat mempengaruhi perubahan bilangan Reynolds pada celah sempit rektangular.

**Kata kunci:** celah sempit, rektangular, variasi temperatur, Reynolds.

**ABSTRACT**

**EFFECTS OF TEMPERATURE VARIATION ON THE PLAT OF RECTANGULAR NARROW GAP REYNOLDS NUMBERS.** Related research reactor safety management especially during nuclear reactor accidents, one of which is the characteristic Reynolds number in the narrow gap rectangular. Rectangular-shaped slit is assumed to be a gap in the molten reactor core during an accident at a nuclear reactor. Such research needs to be done to understand the phenomenon of cooling in the event of an accident at a reactor. The understanding gained can be used to determine the condition of the accident that occurred on power reactors and research reactors. This study aimed to obtain the characteristic Reynolds number in the narrow gap to the effects of temperature variation plates. The research was carried out with 3 variations of plate temperature 30°C, 40°C, 60°C, with 40°C water temperature input and a constant flow rate 0.472 L/s at 2.25 mm gap. Experiments done by draining the water flow rate 0.472 L/s at 40°C of temperature water into a narrow rectangular slit after preheated plate. Recording data during ongoing experiments using a data acquisition system with the NI-cDAQ recording rate of 1 data per second. The results showed that for the state of the plate is heated with water temperature 40°C, it appears that the gap Reynolds number is increasing at a constant flow rate. 37 553 at the highest Reynolds number plate temperature 60°C, 40°C water temperature and water flow rate 0.472 L/s. Percentage increase in the Reynolds number for the experiments at 30°C plate temperature obtained 0.14%, for a plate temperature of 40°C obtained percentage of 0.07%, for a plate temperature of 60°C obtained percentage of 0.24% with 0.472 L/s of water flow at 40°C water temperature input. So it can be concluded that changes in temperature affect change in Reynolds number plate on a narrow rectangular slit.

**Keywords:** narrow slit, rectangular, temperature variation, Reynolds.

## PENDAHULUAN

Kebutuhan energi dimasa sekarang menjadi suatu kebutuhan primer yang sangat dibutuhkan untuk kegiatan sehari-hari, salah satunya yaitu kebutuhan energi listrik. Kebutuhan energi dibedakan atas beberapa sektor pengguna diantaranya yaitu industri, rumah tangga, transportasi, pemerintahan, dan komersial. Kebutuhan energi terbesar yaitu pada sektor industri disusul oleh sektor transportasi. Besarnya kebutuhan energi ini bersumber dari bahan bakar minyak (BBM), gas bumi, listrik dan LPG. Kemampuan penyediaan kebutuhan energi ini terkait erat dengan ketersediaan sumber daya energi. Kebutuhan energi dari waktu ke waktu semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk serta pertumbuhan kebutuhan energi listrik<sup>[1]</sup>.

Untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut diperlukan suatu energi alternatif yang dapat memenuhi kebutuhan energi, selama ini energi dipasok dari bahan fosil dengan kurun waktu tertentu dapat habis. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik, para ahli telah menciptakan berbagai inovasi yang berkaitan dengan pembangkit tenaga listrik dengan cara mengelola berbagai macam sumber energi. Teknologi tersebut menimbulkan suatu masalah yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan sekitarnya jika dalam pengelolaan dan pengoperasiannya mengalami kesalahan manajemen. Hal tersebut mendorong untuk membuat inovasi baru dalam menciptakan energi alternatif yang bersifat ramah lingkungan dan terbarukan. Salah satunya adalah pembuatan suatu pembangkit yang menggunakan tenaga nuklir<sup>[2]</sup>.

Pembangkit tenaga nuklir merupakan salah satu energi alternatif sebagai pengganti energi jenis lain. Dalam pembangunan suatu reaktor nuklir perlu diperhatikan masalah-masalah yang akan terjadi nantinya. Mengingat bahaya yang dimungkinkan oleh kecelakaan nuklir dapat berdampak sangat parah. Untuk itu dalam pembangunan suatu reaktor

nuklir harus ditetapkan persyaratan keselamatan yang dapat menjamin rancangan, konstruksi dan operasi suatu reaktor yang dapat menuju suatu tingkat keselamatan yang tinggi<sup>[3]</sup>.

Pada pembangkit listrik tenaga nuklir, keselamatan merupakan aspek yang sangat penting yang harus lebih ditingkatkan. Beberapa kejadian pernah terjadi pada pembangkit listrik tenaga nuklir, seperti terjadinya kecelakaan reaktor nuklir Three mile island (TMI) dan reaktor Daiji Fukushima Jepang. Kecelakaan tersebut terjadi karena bahan bakar meleleh atau lelehan teras reaktor yang menumpuk dibagian bawah bejana reaktor. Lelehan tersebut tidak merusak bejana reaktor, hal ini terkait dengan proses pendinginan yang terjadi pada saat terjadi kecelakaan.<sup>[4]</sup>

Dengan demikian diperlukan pemahaman yang lebih mendalam terkait dengan karakteristik pola kecepatan aliran pada celah sempit tersebut agar temperatur pelat elemen bakar tidak melebihi batas operasinya. Penelitian secara ekperimental untuk mengkaraktisasi bilangan Reynolds pada celah sempit rektangular menjadi bagian penting dalam keselamatan reaktor. Selain untuk menginvestigasi fenomena aliran yang melibatkan dinamika fluida dan efek termal. Untuk mensimulasikan kondisi aliran, perubahan tekanan dan temperatur di dalam celah sempit rektangular bahan bakar digunakan fasilitas bagian uji HeaTiNG-02 (*Heat Transfer in Narrow Gap*). Tujuan penelitian ini yaitu untuk memperoleh karakteristik bilangan Reynolds dan perubahan temperatur pelat.

## METODE 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 pada suatu reaktor nuklir. Untuk pembacaan dan perekaman data selama eksperimen berlangsung menggunakan sistem akuisisi data *National Instrument* (NI-cDAQ). Eksperimen dilakukan dengan cara me-

manaskan pelat terlebih dahulu sesuai parameter, setelah itu mengalirkan air ke dalam celah sempit rektangular pada HeaTiNG-02 dengan temperatur air yang dikehendaki dari sisi primer UUB dengan debit aliran air yang konstan.

## PERALATAN DAN PROSEDUR EKSPERIMEN

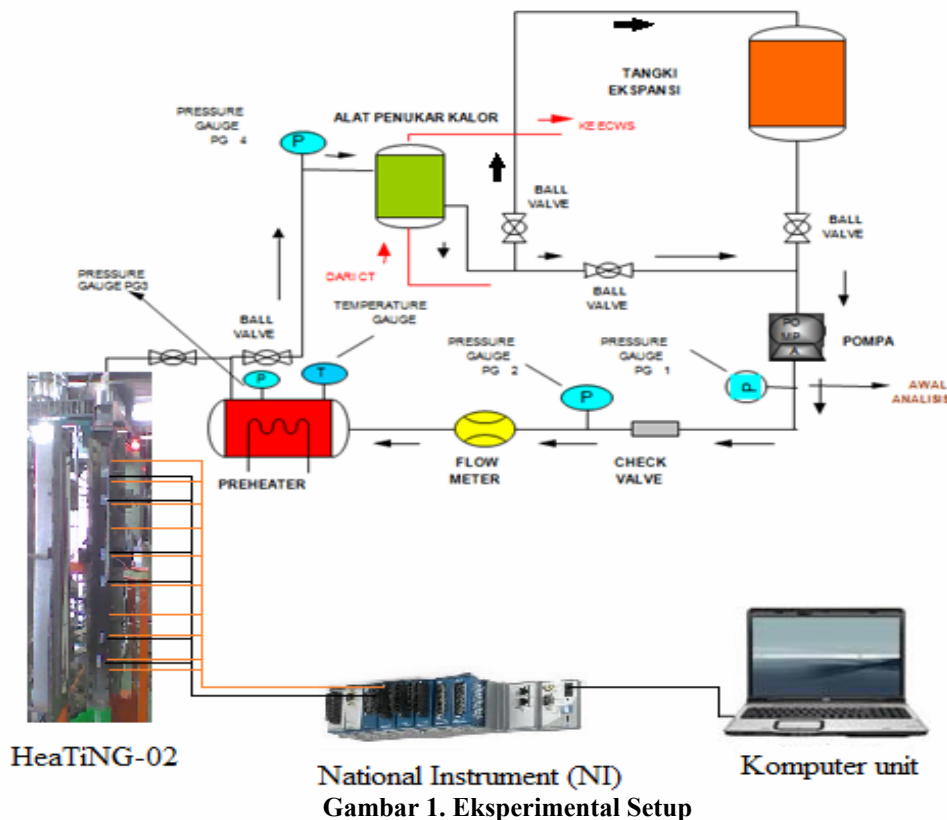
### Peralatan Eksperimen

Eksperimen yang dilakukan berdasarkan variasi temperatur pelat 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 pelat utama dan pelat penutup. Pelat utama terbuat dari bahan SS316 dengan jarak antara pelat utama dan pelat penutup ditetapkan 2,25 mm.

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-cDAQ)* 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 1.

Tabel 1. Matriks Eksperimen

Ukuran celah (mm)	Temperatur pelat dalam HeaTiNG-02(°C)	Temperatur air (°C)	Debit air (L/s)
2,25	30	40	0,472
	40		
	60		



Gambar 1. Eksperimental Setup

## Prosedur Eksperimen

Pertama kali eksperimen dilakukan dengan mengatur dan menentukan laju rekam data pada program NI-cDAQ. Kemudian memanaskan pelat hingga temperatur pelat pada HeaTiNG-02 sesuai yang direncanakan yaitu 30°C, 40°C dan 60°C dengan menggunakan *regulator* untuk masukan daya. Daya dinaikan secara bertahap dengan selang waktu 5 menit. Apabila temperatur pelat telah mencapai temperatur yang direncanakan, *regulator* dimatikan dan air dialirkan ke dalam celah rektanguler pada HeaTiNG-02 dengan debit air sebesar 0,472 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:

- $Re$  : Bilangan Reynold
- $v$  : 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. Apabila  $Re$  rendah, efek kental mendominasi dan apabila  $Re$  tinggi efek inersial cenderung ke turbulensi mendominasi proses perpindahan panas[5]. Diakibatkan densitas dan viskositasnya semakin kecil karena temperatur semakin tinggi.

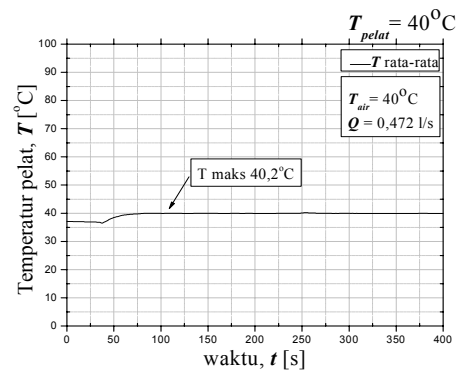
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### HASIL

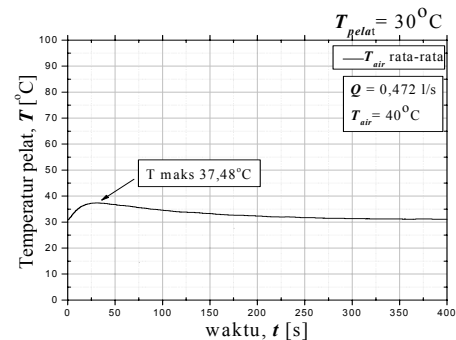
Hasil pengukuran temperatur transien dan

bilangan Reynolds selama proses pengucuran air dengan variasi temperatur pelat yaitu 30°C, 40°C, dan 60°C serta debit aliran air 0,472 L/s yang dialirkan kedalam celah sempit, di tunjukan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.

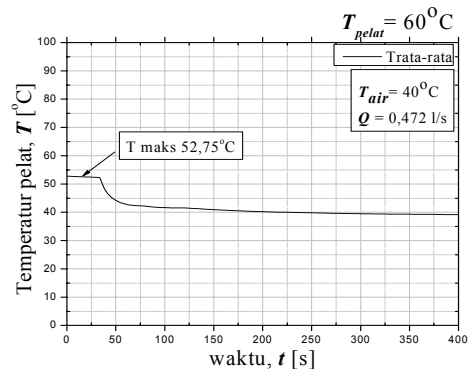
Terlihat pada gambar temperatur pelat setelah dialirkan air terjadi kenaikan terlebih dahulu karena terjadi penyerapan kalor oleh pelat, seterusnya konstan. Temperatur konstan karena temperatur air yang ada pada *reservoir tank* tidak mengalami penurunan atau konstan.



Gambar 2. Kurva transien pada temperatur pelat 30°C



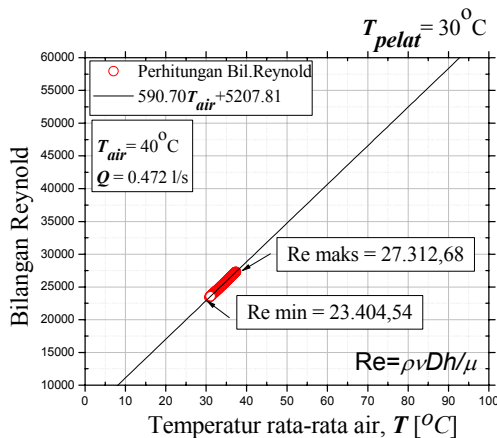
Gambar 3. Kurva transien pada temperatur pelat 40°C



Gambar 4. Kurva transien pada temperatur pelat 60°C

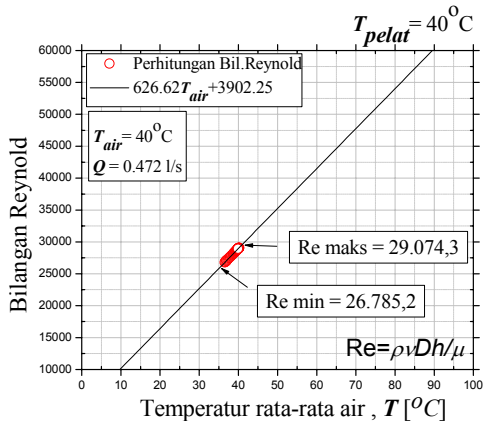
Perubahan temperatur sangat berpengaruh terhadap perubahan bilangan Reynold pada celah sempit. Kecepatan aliran akan semakin cepat apabila temperatur air semakin tinggi. Gambar 5, menunjukkan profil perubahan bilangan Reynold terhadap temperatur pada saat air dialirkan pada HeaTiNG-02 dengan celah 2,25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

Gambar 5, dari eksperimen yang sudah dilakukan dengan temperatur pelat 30°C, temperatur air masukan 40°C dan debit aliran air 0,472 L/s serta celah 2,25 mm didapatkan kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



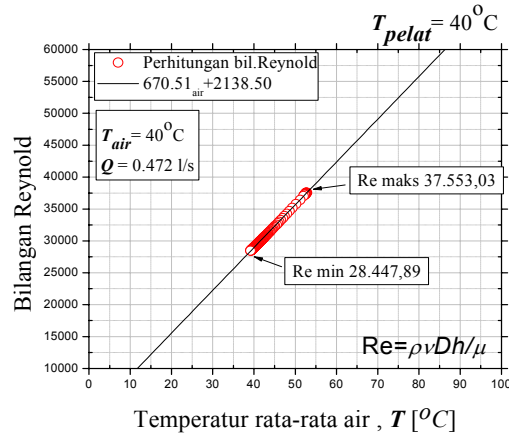
Gambar 5. Bilangan Reynolds temperatur pelat 30°C

Gambar 6, dari eksperimen yang sudah dilakukan dengan temperatur pelat 40°C, temperatur air masukan 40°C dan debit aliran air 0,472 L/s serta celah 2,25 mm didapatkan kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Bilangan Reynolds temperatur pelat 40°C

Gambar 7, dari eksperimen yang sudah dilakukan dengan temperatur pelat 60°C, temperatur air masukan 40°C dan debit aliran air 0,472 L/s serta celah 2,25 mm didapatkan kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

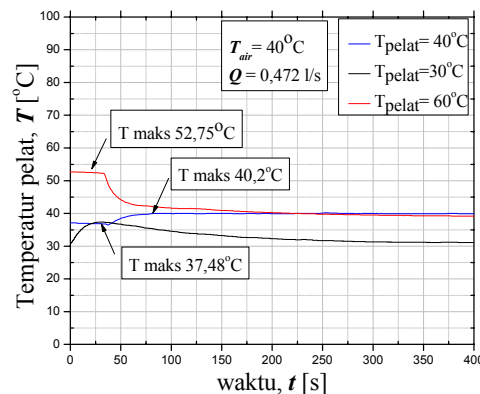


Gambar 7. Bilangan Reynolds temperatur pelat 60°C

PEMBAHASAN

Pengaruh Temperatur Terhadap Bilangan Reynold

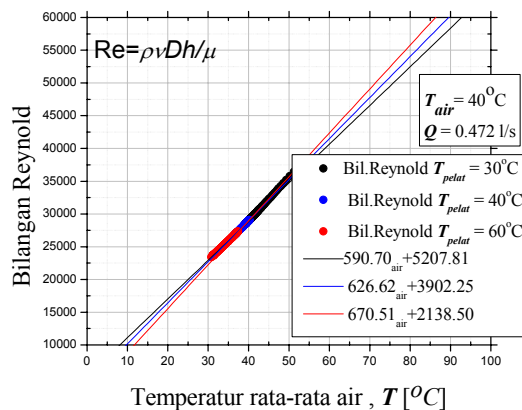
Kurva transien pada saat air dikucurkan ke dalam celah sempit rektangular HeaTiNG-02 pada temperatur pelat 30°C, 40°C, 60°C dan temperatur air masukan 40°C serta debit aliran air 0,472 L/s dapat dilihat pada Gambar 8



Gambar 8. Kurva transien pada temperatur pelat 30°C, 40°C, 60°C

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 pelat 60°C lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur pelat 30°C dan 40°C. Pada temperatur pelat 40°C terlihat konstan, itu dikarenakan temperatur air yang ada pada *reservoir tank* tidak mengalami penurunan.

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



Gambar 9. Bilangan Reynolds pada temperatur pelat 30°C, 40°C, 60°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 60°C temperatur air masukan 40°C dengan debit aliran air 0,472 L/s didapat bilangan Reynolds lebih besar dibandingkan temperatur pelat 30°C dan 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 Reynolds 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 60°C temperatur air 40°C dan debit aliran air 0,472 L/s di dapat bilangan Reynold sebesar 37553. Persentase kenaikan bilangan Reynold untuk temperatur pelat 30°C didapatkan persentase 0,14%, untuk temperatur pelat 40°C didapatkan persentase 0,07%, untuk temperatur pelat 60°C didapatkan persentase 0,24% dengan debit aliran air 0,472 L/s. Sehingga disimpulkan bahwa perubahan temperatur pelat mempengaruhi perubahan bilangan Reynolds pada celah sempit rectangular.

## UCAPAN TERIMA KASIH

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

## DAFTAR PUSTAKA

1. JOKO SANTOSO dan YUDIARTONO, "Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Nasional Jangka Panjang di Indonesia", Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, Dan Energi Terbarukan.
2. ELSA MELFIANA dkk, "Pengaruh Variasi Temperatur Keluaran Molten Salt Reactor Terhadap Efisiensi Produksi Hidrogen dengan Sistem High Temperature Electrolysis (HTE)", Prosiding Seminar Nasional ke-13 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir ISSN : 0854 - 2910 Jakarta, 6 Nopember 2007.

3. JUPITER S PANE, "Implementasi Persyaratan Keselamatan Dalam Disain Reaktor Riset", bulletin Tridasa mega Vol.5/No.1 – Maret 1996.
4. MULYA JUARSA dan A.R. ANTARIKSAWAN, "Studi Eksperimental Pengaruh Temperatur Terhadap Perpindahan Panas di Celah Anulus Vertikal", jogja.2003.
5. KHAIRUL HANDONO dan ARI SATMOKO, " Pengaruh Ukuran GAP Pada Karakteristik Perpindahan Panas Kanal Rektangular Aliran Ke Atas", ISSN : 0854 – 2910 PTRKN- BATAN, diamabil 30-04 10:23