

## Rugi Tekanan pada Celah Sempit Rektangular Berdasarkan Variasi Temperatur Air Masukan

Jhon Fredi Sianturi<sup>1,2</sup>, Mulya Juarsa<sup>2,3</sup>, Bambang Heru<sup>3</sup>,  
Joko Prasetyo<sup>3</sup>, Hadi Kusuma<sup>3</sup>, Yogi Sirodz Gaos<sup>2</sup>, Edi Marzuki<sup>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  
[fredi\\_jhon@yahoo.com](mailto:fredi_jhon@yahoo.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 15310 BANTEN

### Abstrak

Pemahaman melalui analisis terhadap fenomena rugi tekanan yang terjadi di celah sempit rektangular merupakan hal penting pada keselamatan reaktor baik selama terjadinya kecelakaan untuk reaktor daya maupun kondisi operasi normal untuk reaktor riset. Penelitian atau eksperimen dilakukan untuk mengetahui fenomena pendinginan pada reaktor apabila terjadi kecelakaan dan kondisi normal. Tujuan penelitian difokuskan untuk memahami rugi tekanan di celah sempit rektangular akibat aliran air pendinginan. Celah sempit rektangular terbentuk dari dua pelat bahan bakar pada reaktor riset di Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) yang berukuran 2,25 mm. Rugi tekanan perlu difahami mengingat proses pendinginan atau pemanasan menggunakan konveksi paksa, sehingga efek aliran dan temperatur terhadap pelat bahan bakar dapat diketahui. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan alat uji *Heat Transfer in Narrow Gap (HeaTiNG-02)* dimana celah sempit rektangular dapat dibentuk dengan ukuran yang sama dengan celah diantara bahan bakar RSG-GAS. Parameter eksperimen meliputi 30°C temperatur pelat, variasi temperatur air 40°C, 60°C dan 80°C yang dimasukkan ke dalam celah sempit rektangular. Debit aliran air adalah 0.567 l/s. Data hasil eksperimen direkam menggunakan sistem akuisisi data dengan laju perekaman data 1 data per-detik. Data transien temperatur yang didapat digunakan untuk mengetahui karakteristik perubahan tekanan *inlet* dan *outlet* dan menganalisis rugi tekanan pada celah sempit rektangular. Hasil analisis berdasarkan variasi temperatur air 40°C, 60°C dan 80°C menunjukkan secara berturut-turut untuk rugi tekanan hasil pengukuran adalah 0,01 bar, 0,02 bar, dan 0,02 bar sedangkan rugi tekanan hasil perhitungan adalah 0,01 bar, 0,03 bar dan 0,05 bar. Penyimpangan nilai rugi tekanan untuk pengukuran dan perhitungan pada temperatur air 40°C antara 4,9% hingga 8,3%, temperatur air 60°C antara -3,9% hingga 7,1% dan temperatur air 80°C antara -12,7% hingga 5,9%. Semakin tinggi temperatur air masukan maka semakin tinggi rugi tekanan dan karakteristik tekanan *inlet* dan *outlet* juga semakin besar.

Kata kunci: rugi tekanan, rektangular, aliran, temperatur, celah sempit

## PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan manusia, dimana diperkirakan beberapa tahun yang akan datang terjadi krisis energi. Pemanfaatan energi baru, pemerintah berencana membangun PLTN, tetapi masih kita ingat potensi bahaya nuklir seperti kecelakaan-kecelakaan yang terjadi pada PLTN, oleh karena itu, untuk mencegah sebelum terjadinya kecelakaan dan pembangunan PLTN di Indonesia, maka perlu diketahui dan dipahami bahaya-bahaya dan cara penanggulangan apabila PLTN mengalami kecelakaan. Selain itu pemerintah juga melakukan kegiatan pemanfaatan non-energi nuklir, dimana saat ini sudah berkembang. (<http://www.batan.go.id/prsg>) Salah satu bukti bahwa Indonesia sudah mampu membangun dan mengoperasikan PLTN adalah berdirinya salah satu pusat penelitian nuklir di BATAN yaitu Reaktor Serba Guna-G.A. *Siwabessy*, disingkat RSG-GAS, atau *Multipurpose Reactor—G.A. Siwabessy*. Reaktor Serba Guna-G.A. *Siwabessy* adalah sebuah reaktor nuklir serbaguna berkapasitas 30 MW, dimana reaktor ini merupakan reaktor riset jenis *MTR* (*Material Testing Reactor*) pertama di dunia yang dioperasikan langsung dengan menggunakan elemen bakar pengkayaan Uranium rendah, *LEU* (*Low Enriched Uranium*). Bahan bakar reaktor berbentuk pelat yang disusun sedemikian rupa, sehingga diantara pelat membentuk celah sempit rectangular dengan ukuran 2,25 mm. (Suwardi, 2008). Adapun penelitian terkait dengan fenomena pendinginan pada celah sempit (*narrow channel*) telah dilakukan oleh Mulya Juarsa, dkk. (2007) dimana mereka menjelaskan semakin tinggi temperatur dinding pelat, semakin banyak uap dibentuk dan semakin stabil selaput uap dan pendinginan terjadi lebih lambat. IGN. Bagus Catrawedarma, dkk. (2001) juga berkata semakin tinggi temperatur awal plat utama, maka semakin lama waktu *rewettingnya* dan perubahan temperatur awal pelat utama tidak mempengaruhi pola *rewetting*. Berdasarkan penjelasan di atas maka penelitian atau eksperimen ini dilakukan untuk mendukung data teknis dan data untuk penelitian lanjut RSG-GAS yang dimana tujuannya adalah

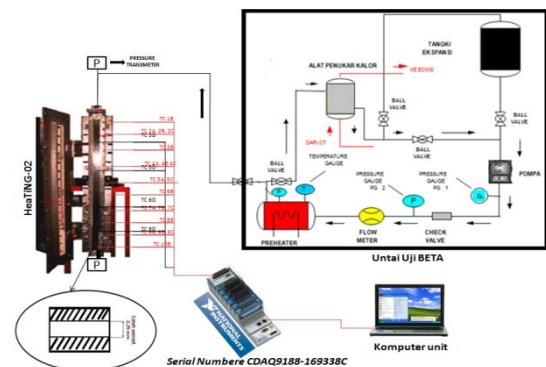
memperoleh karakteristik perubahan tekanan *inlet* dan *outlet* dan menganalisis rugi tekanan pada celah sempit rectangular dengan variasi temperatur air masukan. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan alat uji *Heat Transfer in Narrow Gap* (*HeaTiNG-02*) dikarenakan alat ini memiliki bentuk geometri celah sempit rectangular yang sama dengan bentuk celah sempit pada pelat elemen bakar RSG-GAS.

## Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metodologi eksperimental dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Melakukan *literature survey* dan memahami buku panduan.
- Melakukan eksperimen untuk memperoleh data transien dan rugi tekanan pada celah sempit rectangular dengan parameter perubahan temperatur air masukan ke celah sempit rectangular.
- Menganalisis hasil data yang telah didapatkan dan mengambil kesimpulan dari perbandingan antara hasil eksperimen dengan perhitungan.

## Peralatan eksperimen dan prosedur eksperimen



Gambar 1 Eksperimental Setup

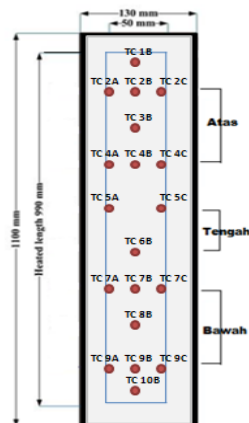
Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, dimana eksperimen ini dilakukan dengan menggabungkan dua rangkaian fasilitas yaitu Untai Uji Beta (UUB) dan *Heat Transfer in Narrow Gap* (*HeaTiNG-02*). UUB digunakan untuk mengatur debit aliran dan temperatur air yang

akan mengalir ke celah sempit rectangular. UUB terdiri dari beberapa bagian yaitu pompa, *flow meter*, *reservoir tank*, *preheater*, termokopel, beberapa katup dan *pressure transducer*. Sedangkan HeaTiNG-02 merupakan seksi uji yang di dalamnya terdapat pelat utama dimana pelat ini terbuat dari SS316. Jarak antara pelat utama dan pelat penutup ditetapkan 2,25 mm, pada pelat utama terpasang 19 buah termokopel, dengan termokopel type-K, dimana termokopel ini untuk mengukur perubahan temperatur atau transien yang terjadi selama proses eksperimen. Perekam data selama eksperimen menggunakan data akuisisi sistem *National Instruments* (NI-DAQ), dengan laju perekaman 1 data per-detik selama 10 menit. Data yang diperoleh diolah dengan menggunakan *Origin-8*.

Komponen HeaTiNG-02 yaitu:

▪ Pelat utama

Pelat ini berukuran tebal 8 mm, panjang 1100 mm, dan lebar total 130 mm, dengan lebar wilayah untuk aliran air adalah 50 mm, dan terbuat dari bahan pelat *Stainless Steel* 316. Pada pelat ini dipasang 19 titik termokopel, dimana termokopel yang di gunakan yaitu tipe-K, untuk lebih jelas lihat Gambar 2 dan Tabel 1 matrik eksperimen.



Gambar 2. Susunan termokopel pada pelat utama

Tabel 1. Matriks Eksperimen

Parameter	Nilai		
Ukuran celah (mm)	2,25		
Temperatur pelat utama (°C)	30		
Debit air (l/s)	0,567		
Temperatur air (°C)	40	60	80

### Prosedur eksperimen

1. Eksperimen diawali dengan mengecek alat uji dan mengatur lebar celah rectangular dengan ukuran 2,25 mm.
2. Pengaturan temperatur air pada alat UUB, dimana temperatur air diatur dengan menggunakan *preheater*. Pembacaan temperatur air dan debit air menggunakan alat ukur *flow meter* dan *pre-heater meter*.
3. Memposisikan alat uji HeaTiNG-02 secara vertikal. Menghubungkan UUB dengan HeaTiNG-02 dan pembukaan penutup keramik *heater*, kran penutup air dibuka dan perekaman data dimulai pada saat dibukanya katup saluran air dari UUB ke HeaTiNG-02.
4. Pengambilan data temperatur dilakukan dengan akuisisi data NI-DAQ, data diambil selama 10 menit mulai air masuk ke HeaTiNG-02. Sedangkan untuk data rugi tekanan ukur diambil dari *pressure transducer* 1 menit 1 kali, data di ambil sama seperti air masuk ke HeaTiNG-02 dan berakhir setelah 10 menit.
5. Data transien akan di jelaskan dan data *pressure* digunakan untuk mencari rugi tekanan pada celah sempit rectangular. Rumus yang digunakan yaitu kerugian tekanan mayor, kerugian tekanan mayor adalah rugi tekanan akibat gesekan pada sistem aliran celah yang lurus tanpa hambatan. (HANDOYO. Ismu, dkk. 2012) yang dapat dihitung dengan persamaan :

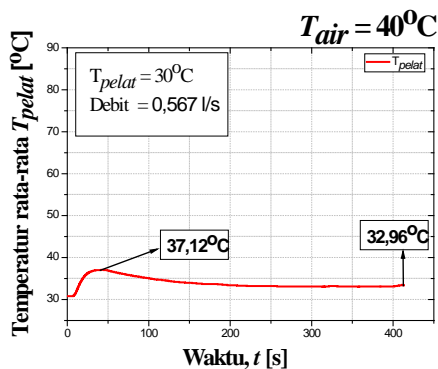
$$\Delta P_{mayor} = 2f \frac{l}{dh} \rho v^2 \dots\dots\dots [1]$$

Dengan nilai koefisien gesek untuk *internal flow* pada *rectangular duct* digunakan  $f=0,085 \text{ Re}^{-0,25}$  (BHAGORIA. J.L, J.S. Saini, dkk. 2002).

## Hasil dan Pembahasan

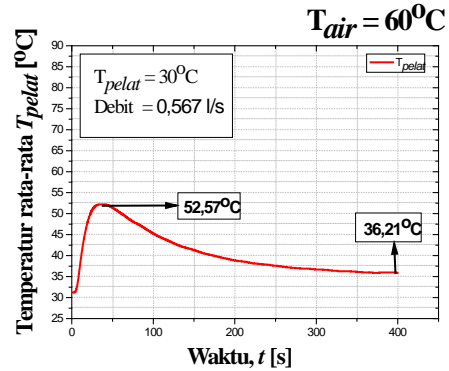
### Transien temperatur

Temperatur transien terjadi saat air mulai masuk kedalam celah rectangular hingga air dihentikan. Pemanasan secara transien oleh air yang lebih tinggi temperaturnya terjadi pada pelat utama yang bertemperatur dingin yaitu  $30^{\circ}\text{C}$ . Perubahan temperatur pada pelat utama akan mengikuti perubahan temperatur air, semakin tinggi temperatur air yang mengalir pada celah sempit rectangular maka semakin tinggi temperatur pelat. Hal ini disebabkan pelat menyerap kalor yang di bawa air dan apa bila temperatur air pendingin menurun maka temperatur pelat akan menurun juga. Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan kurva transien temperatur pelat rata-rata sebagai temperatur rata-rata air yang melalui celah sempit rectangular dengan variasi temperatur air  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$  dan  $80^{\circ}\text{C}$ .



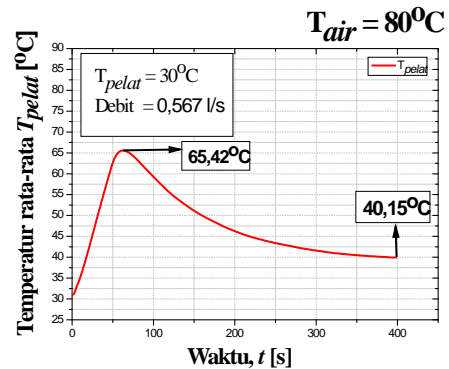
Gambar 4. Kurva transien temperatur rata-rata air  $40^{\circ}\text{C}$

Gambar 4 adalah kurva transien temperatur rata-rata air  $40^{\circ}\text{C}$  dimana terlihat bahwa temperatur pelat mengikuti perubahan temperatur air, dalam hal ini pelat menyerap kalor yang di bawa air. Kemudian, pada kurva terlihat temperatur tertinggi terjadi pada  $37,12^{\circ}\text{C}$  yang kemudian turun ke temperatur terendah  $32,88^{\circ}\text{C}$  dengan selisih temperatur  $4,24^{\circ}\text{C}$ . Penurunan temperatur diakibatkan oleh air dari *reservoir* tank yang memiliki temperatur rendah sekitar  $27^{\circ}\text{C}$ .



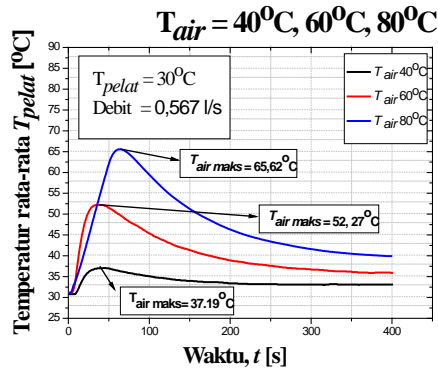
Gambar 5. Kurva transien temperatur rata-rata air  $60^{\circ}\text{C}$

Gambar 5 yaitu kurva transien temperatur rata-rata air  $60^{\circ}\text{C}$  dimana terlihat temperatur tertinggi terjadi pada  $52,57^{\circ}\text{C}$  yang kemudian turun ke temperatur terendah  $36,21^{\circ}\text{C}$  dengan selisih temperatur  $21,36^{\circ}\text{C}$ . Penurunan temperatur diakibatkan oleh air dari *reservoir* tank yang memiliki temperatur rendah sekitar  $27^{\circ}\text{C}$ . Dari kurva terlihat temperatur pelat mengikuti perubahan temperatur air, hal ini pelat menyerap kalor dari air masukan.



Gambar 6. Kurva transien temperatur rata-rata air  $80^{\circ}\text{C}$

Gambar 6 merupakan kurva transien temperatur rata-rata air  $80^{\circ}\text{C}$  dimana terlihat bahwa temperatur pelat mengikuti perubahan temperatur air, dalam hal ini pelat menyerap kalor yang di bawa air sampai memiliki kesetimbangan panas yang sama. Kemudian, pada kurva terlihat temperatur tertinggi terjadi pada  $65,42^{\circ}\text{C}$  yang kemudian turun ke temperatur terendah  $40,15^{\circ}\text{C}$  dengan selisih temperatur  $25,27^{\circ}\text{C}$ . Penurunan temperatur diakibatkan oleh air dari *reservoir* tank yang memiliki temperatur rendah sekitar  $27^{\circ}\text{C}$ .

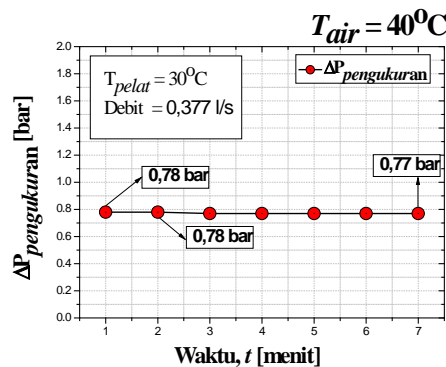


Gambar 7. Kurva perbandingan transien temperatur rata-rata air 40°C, 60°C, 80°C

Gambar 7 merupakan kurva perbandingan transien temperatur rata-rata untuk variasi air 40°C, 60°C dan 80°C. Terlihat pada Gambar 7 puncak temperatur tertinggi terjadi pada temperatur air 80°C dan temperatur terendah terjadi pada temperatur air 40°C, kondisi ini menunjukkan kondisi yang seharusnya terjadi.

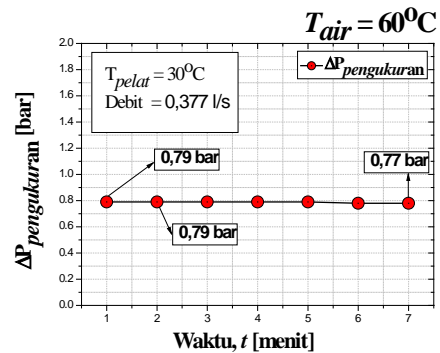
#### Kurva rugi tekanan pengukuran

Kurva rugi tekanan pengukuran didapat dari pembacaan pada *pressure transmeter*, untuk hasil rugi tekanan untuk variasi air 40°C, 60°C dan 80°C dapat dilihat dari Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10.



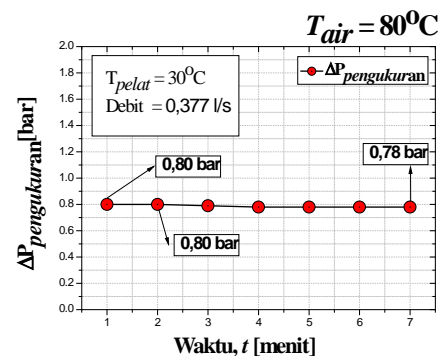
Gambar 8. Kurva rugi tekanan pengukuran temperatur air 40°C

Gambar 8 adalah kurva rugi tekanan pengukuran, kurva menunjukkan pada temperatur air 40°C tekanan tertinggi 0,78 bar dan tekanan terendah 0,77 bar. Terlihat dari kurva tekanan cenderung semakin lama semakin menurun, selisih penurunan tekanan 0,01 bar.



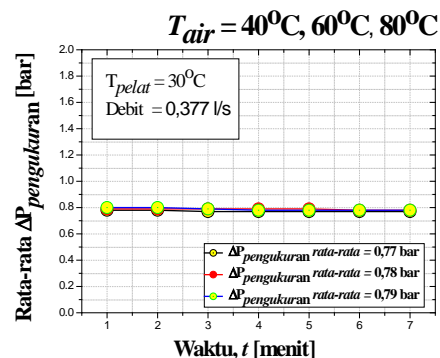
Gambar 9. Kurva rugi tekanan pengukuran temperatur air 60°C

Gambar 9 yaitu kurva rugi tekanan temperatur air 60°C, terlihat pada kurva tekanan tertinggi 0,79 bar dan tekanan terendah 0,77 bar, selisih penurunan tekanan 0,02 bar.



Gambar 10. Kurva rugi tekanan temperatur air 80°C

Gambar 10 merupakan rugi tekanan temperatur air 80°C. Kurva menunjukkan tekanan tertinggi 0,80 bar dan tekanan terendah 0,78 bar, selisih penurunan tekanan 0,02 bar.



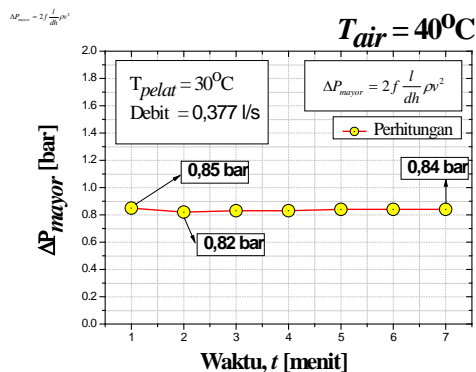
Gambar 11. Kurva gabungan rugi tekanan rata-rata temperatur air 40°C, 60°C, 80°C

Gambar 11 adalah kurva gabungan tekanan pengukuran rata-rata temperatur air 40°C, 60°C, 80°C. Terlihat selisih tekanan tidak terlalu besar dan hanya selisih 0,01 bar. Temperatur air 40°C tekanan rata-rata 0,77 bar, temperatur 60°C tekanan rata-rata 0,78 bar dan temperatur air 80°C tekanan rata-rata 0,79 bar, kondisi ini menunjukkan kondisi yang seharusnya terjadi. Semakin tinggi temperatur air pendingin maka semakin tinggi rugi tekanan, ini dipengaruhi viskositas dan densitas temperatur air masukan.

## Pembahasan

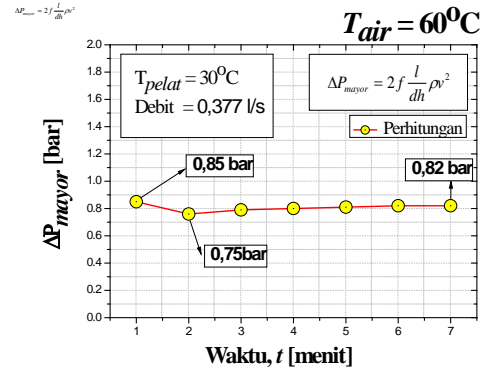
### Kurva rugi tekanan perhitungan

Kurva rugi tekanan perhitungan didapat dari perhitungan menggunakan rumus rugi tekanan mayor. Hasil rugi tekanan untuk variasi air 40°C, 60°C dan 80°C dapat dilihat dari Gambar 12, Gambar 13 dan Gambar 14.



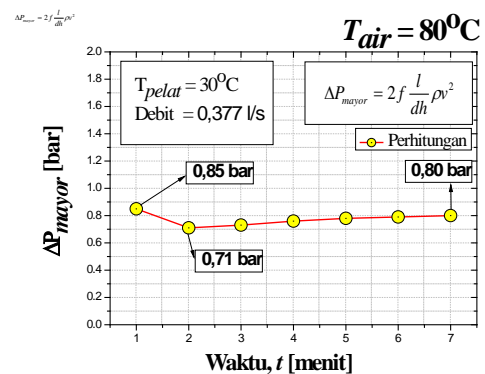
Gambar 12. Kurva perhitungan rugi tekanan temperatur air 40°C

Gambar 12 merupakan kurva rugi tekanan perhitungan temperatur air 40°C, pada menit pertama tekanan terjadi yaitu 0,85 bar dan turun ke 0,82 bar kemudian naik lagi ke 0,84 bar. Ini disebabkan temperatur pelat dan temperatur air yang berbeda, temperatur air memberi kalor ke pelat yang mengakibatkan tekanan besar. Tekanan dipengaruhi oleh temperatur air masukan. Selisih penurunan tekanan 0,01 bar.



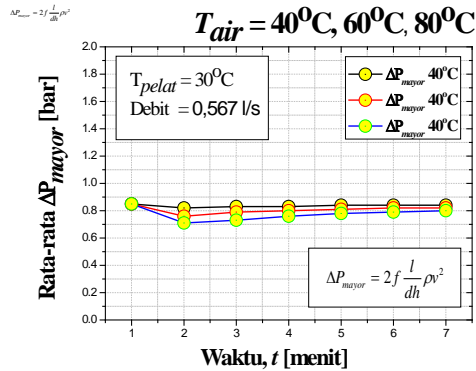
Gambar 13. Kurva perhitungan rugi tekanan pada temperatur air 60°C

Gambar 13 adalah kurva rugi tekanan hitung pada temperatur air 60°C. Kurva menunjukkan pada menit pertama tekanan terjadi sangat tinggi yaitu 0,85 bar dan turun ke 0,75 bar kemudian naik lagi ke 0,82 bar. Selisih penurunan tekanan 0,03 bar.



Gambar 14. Kurva perhitungan rugi tekanan pada temperatur air 80°C

Gambar 14 yaitu kurva perhitungan rugi tekanan temperatur air 80°C. Kurva menunjukkan pada menit pertama tekanan terjadi sangat tinggi yaitu 0,85 bar dan turun ke 0,71 kemudian naik lagi ke 0,80 bar. Selisih penurunan tekanan 0,05 bar.

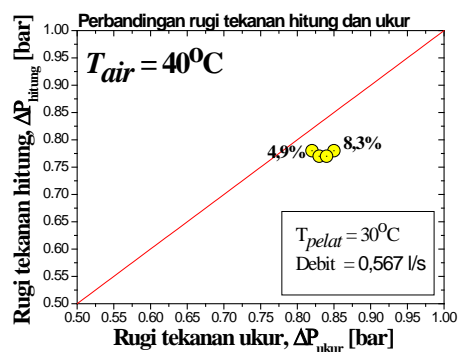


Gambar 15. Kurva rata-rata gabungan perhitungan rugi tekanan temperatur air 40°C

Gambar 15 adalah kurva rata-rata gabungan perhitungan rugi tekanan pada temperatur air 40°C, 60°C, 80°C. Kurva menunjukkan untuk temperatur air 40°C selisih penurunan tekanan 0,01bar, temperatur air 60°C selisih penurunan 0,03 bar dan temperatur air 80°C selisih penurunan tekanan 0,05 bar. Semakin tinggi temperatur air pendingin maka selisih rugi tekanan semakin besar, dimana dipengaruhi oleh viskositas dan densitas air pendingin. kondisi ini menunjukkan kondisi yang seharusnya terjadi.

### Kurva perbandingan rugi tekanan pengukuran dan perhitungan

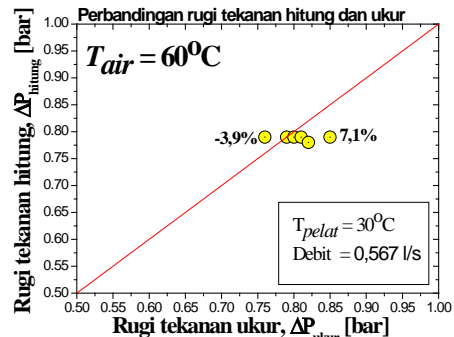
Kurva perbandingan rugi tekanan pengukuran dan kurva rugi tekanan perhitungan dapat dilihat pada Gambar 16, Gambar 17 dan Gambar 18.



Gambar 16. Kurva perbandingan pengukuran dan perhitungan temperatur 40°C

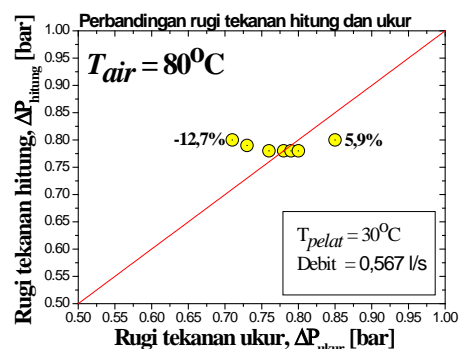
Gambar 16 adalah kurva perbandingan pengukuran dan perhitungan pada temperatur 40°C, kurva menunjukkan selisih rugi tekanan perhitungan dan rugi tekanan

pengukuran yang terkecil 4,9% dan yang terbesar 8,3%, ini kemungkinan disebabkan kurang presisinya alat ukur *pressur transmeter*.



Gambar 17. Kurva perbandingan pengukuran dan perhitungan temperatur 60°C

Gambar 17 yaitu kurva perbandingan pengukuran dan perhitungan pada temperatur 60°C, kurva menunjukkan selisih rugi tekanan perhitungan dan rugi tekanan pengukuran yang terkecil -3,9% dan yang terbesar 7,1%, ini kemungkinan disebabkan kurang presisinya alat ukur *pressure transmeter*.



Gambar 18. Kurva perbandingan pengukuran dan perhitungan pada temperatur 80°C

Gambar 18 merupakan kurva perbandingan pengukuran dan perhitungan pada temperatur 80°C, kurva menunjukkan selisih rugi tekanan perhitungan dan rugi tekanan pengukuran yang terkecil -12,7% dan yang terbesar 5,9%, ini kemungkinan disebabkan kurang presisinya alat ukur *pressur transmeter*.

## Kesimpulan

Hasil analisis berdasarkan variasi temperatur air 40°C, 60°C dan 80°C menunjukkan secara berturut-turut untuk rugi tekanan hasil pengukuran adalah 0,01 bar, 0,02 bar, dan 0,02 bar. Sedangkan rugi tekanan hasil perhitungan untuk variasi temperatur air 40°C didapat hasil 0,01 bar, variasi temperatur air 60°C adalah 0,03 bar dan variasi temperatur air 80°C hasilnya 0,05 bar. Penyimpangan nilai rugi tekanan untuk pengukuran dan perhitungan pada temperatur air 40°C antara 4,9% hingga 8,3%, temperatur air 60°C antara -3,9% hingga 7,1% dan temperatur air 80°C antara -12,7% hingga 5,9%. Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur air masukan maka semakin tinggi rugi tekanan yang terjadi dan perubahan karakteristik tekanan *inlet* dan *outlet* semakin besar. Ini disebabkan viskositas dan densitas air masukan, dimana semakin tinggi temperatur air maka viskositas dan densitas semakin kecil.

## Ucapan Trima Kasih

Pertama-tama penulis mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena karya tulis ini dapat diselesaikan dan penulis juga berterimakasih atas dukungan, bimbingan dan kesempatan yang diberikan kepada penulis dan tem dimana telah memberikan kesempatan untuk menggunakan fasilitas eksperimen kepada Kepala Subbidang Termohidrolika, Kabid BOFa dan Kepala PTRKN BATAN.

## Nomenklatur

$\Delta P_{mayor}$  = Rugi tekanan [Pa]  
 $D_h$  = Diameter hidrolis, [m]  
 $V$  = Kecepatan rata-rata, [m/s]  
 $\rho$  = Densitas fluida, [kg/m<sup>3</sup>]  
 $l$  = Panjang pelat, [m]  
 $f$  = Koefisien gesek.

## Daftar Pustaka

BHAGORIA. J.L., J.S. Saini, dkk, "Heat Transfer Coefficient and Friction Factor Correlations for Rectangular Solar Air

Heater Duct Having Transverse Wedge Shaped Rib Roughness on The Absorber Plate", Renewable Energi, India, (2002)

HANDOYO. Ismu, Kiswanta, dkk, "Karakterisasi Perubahan Tekanan dan Temperatur pada Untai Uji BETA (UUB) Berdasarkan Variasi Debit Aliran", Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, Yogyakarta, (2011)

IGN. Bagus Catrawedarma, dkk, "Analisis Pengaruh Temperatur Awal Plat Terhadap Karakteristik Rewetting Dalam Celah Sempit Vertikal Untuk Kasus Bilateral Heating", Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan perangkat Nuklir, Yogyakarta, (2011)

JUARSA. Mulya, Anhar Riza Antariksawan, "Studi Eksperimental Pengaruh Temperatur Terhadap Perpindahan Panas Di Celah Anulus Vertikal", Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN), PUSPIPTEK Serpong Tangerang, 2007.

Suwardi, "Analisis Getaran Elemen Bakar Uji Untuk Reaktor Nuklir Serba Guna G.A. Siwa Bessy Tipe Pelat Berinti Dispersi U3si2/Al", Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi, Yogyakarta 2008.

<http://www.batan.go.id/prsg>, diakses pada April 23-2012 12:23