

Analisis Karakteristik *Rewetting* Dalam Celah Sempit Vertikal Untuk Kasus *Bilateral Heating* Berdasarkan Perubahan Temperatur Awal Plat

IGN. Bagus Catrawedarma⁽¹⁾⁽²⁾, Indarto⁽¹⁾, Mulya Juarsa⁽³⁾⁽⁴⁾
Ismu Handoyo⁽⁴⁾, Kiswanta⁽⁴⁾, Ririn Fitriana⁽⁵⁾

⁽¹⁾Pascasarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

⁽²⁾Fakultas Teknik, Universitas Hindu Indonesia, Jl. Sangalangit, Denpasar, Bali

⁽³⁾Pascasarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta

⁽⁴⁾PTRKN BATAN, Gd. 80 Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang

⁽⁵⁾Jurusan Fisika, Universitas Padjajaran, Bandung

email: ngurahcatra@yahoo.com

Abstraksi

Analisis perpindahan kalor pendidihan untuk mengetahui pengaruh temperatur awal plat utama terhadap karakteristik *rewetting* yang meliputi waktu dan pola *rewetting* telah dipelajari berdasarkan transien temperatur permukaan plat, yang merupakan hasil eksperimen dengan menggunakan 2 plat vertikal dengan celah sempit antar plat utama dan penutup berukuran 1 mm. Debit dan temperatur air pendingin ditetapkan sebesar 0,09 lt/detik dan mendekati temperatur saturasinya. Temperatur awal plat utama divariasikan dari 500°C, 550°C, dan 600°C. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu *rewetting* tertinggi pada bagian tengah plat utama sebesar 310 detik saat temperatur awal 600°C, sedangkan waktu *rewetting* terendah sebesar 40 detik saat temperatur awal plat 500°C pada bagian tengah plat utama dan penutup, semakin tinggi temperatur awal plat utama, maka semakin lama waktu *rewetting*nya serta perubahan temperatur awal plat utama tidak mempengaruhi pola *rewetting*.

Kata kunci: waktu *rewetting*, pola *rewetting*

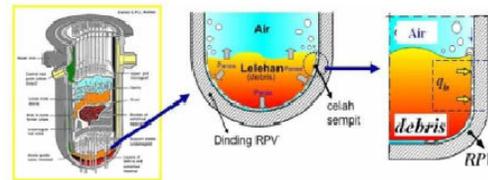
Abstract

Boiling heat transfer to analysis of effect main plate initial temperature to *rewetting* characteristics that are *rewetting* time, and pattern of *rewetting* were studied from transient temperature of surface plate. It is as result of experiment using two vertical plate with 1 mm narrow gap. Debit and temperature of cooling water were controlled about 0,09 lt/s and saturated temperature. The initial temperatures of main plate were changed from 500°C, 550°C, and 600°C. As results shown that middle part of main plat has the highest value of *rewetting* time that is 310 second at 600°C initial main plate temperature, the lowest *rewetting* time is 40 second at 500°C initial main plate temperature on the bottom part of plate. The higher the plate initial temperature, the longer the *rewetting* time and variation of the plate initial temperatures can not influent the pattern of *rewetting*.

Keywords: *rewetting* time, pattern of *rewetting*.

1. PENDAHULUAN

Rewetting merupakan fenomena yang penting dalam kasus pendinginan. Pada saat suatu medium padat dipanaskan sampai mendekati temperatur lelehnya, maka proses pendinginan kembali (*rewetting*) dari medium tersebut harus dilakukan dengan mengalirkan fluida pendingin pada medium tersebut sehingga kondisi temperatur medium tidak melewati titik lelehnya (*melting point*) yang bisa berakibat terjadinya kecelakaan parah. Fenomena ini dapat ditemukan pada kasus pendinginan dalam celah sempit yang terbentuk antara lelehan teras (debris) dengan dinding reaktor nuklir ketika terjadi kecelakaan parah (*severe accident*) pada reaktor Three Mile Island Unit 2 (TMI-2), fenomenanya seperti pada gambar berikut:



Gambar 1. Terbentuknya celah sempit dalam Reactor

Berdasarkan hal tersebut, karakteristik *rewetting* yang meliputi kecepatan dan pola *rewetting* sangat penting untuk dipertimbangkan. Oleh karena itu, perlu pemahaman yang lebih mendalam terkait dengan karakteristik *rewetting* dalam celah sempit.

Beberapa penelitian terkait dengan fenomena *rewetting* dalam celah sempit telah dilakukan oleh para peneliti, yaitu Zhang J. dkk (2003) melakukan penelitian pada celah sempit

anulus vertikal dengan air sebagai fluida uji untuk kasus pemanasan dari satu sisi (*single heating*), yang menggunakan ukuran panjang 300 mm, lebar celah divariasikan dari 0,5 mm, 1,0 mm, 2,0 mm, 4,0 mm, dan 7,0 mm. Dengan menggunakan 7 buah termokopel untuk mengukur perubahan temperatur pada permukaan batang pemanas dengan temperatur awal 500°C, 650°C, dan 800°C. Hasil penelitian yang didapat bahwa semakin kecil lebar celah, maka waktu *rewetting*nya semakin lambat, hal ini dikarenakan oleh kuatnya pengaruh dari *Counter Current Flow Limitation* (CCFL). Disamping itu diketahui bahwa semakin kecil lebar celah, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya *rewetting*. Waktu *rewetting* untuk lebar celah 4,0 mm sangat mendekati lebar celah 7,0 mm.

Juarsa, M dan Antariksawan, A.R (2007) melakukan penelitian dengan beberapa parameter eksperimen yang mirip dengan penelitian yang dilakukan oleh Zhang J. dkk (2003). Juarsa, M dan Antariksawan, A.R (2007) menggunakan geometri anulus, lebar celah 1,0 mm dan 4,0 mm, panjang bagian yang dipanaskan 300 mm, air dengan temperatur saturasi digunakan sebagai fluida pendingin, temperatur awal batang pemanas adalah 800°C. Dari eksperimen tersebut didapat bahwa untuk ukuran celah 1,0 mm, *rewetting* dimulai dari bagian atas, kemudian bagian bawah dan terakhir dibagian tengah, sedangkan untuk ukuran celah 4,0 mm, *rewetting* dimulai dari bagian bawah, kemudian bagian tengah dan diakhiri pada bagian atas. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kuantitas air yang turun melalui dinding kuarsa kearah bawah cukup besar.

Riyono B. dkk ((2010) telah melakukan penelitian yang mirip dengan Zhang J. dkk (2003) dan Juarsa, M dan Antariksawan, A.R (2007), perbedaannya hanya pada temperatur air pendingin yang digunakan. Penelitian Riyono B. dkk (2010) menggunakan geometri anulus sama dengan yang dilakukan oleh Zhang J. dkk (2003) namun berbeda pada dimensi, temperatur air pendingin, dan temperatur awal batang pemanas. Dimensi yang digunakan dalam penelitian Riyono B, dkk (2010) dengan panjang batang pemanas 800 mm, dan lebar celah 1,0 mm. Temperatur awal batang pemanas sebesar 650°C, dan temperatur air pendingin divariasikan dari 75°C, 85°C, dan 95°C. Dari hasil penelitiannya diketahui bahwa terjadi perbedaan waktu akhir dari FB, atau yang disebut sebagai titik pembasahan ulang (*rewetting point*). Pada temperatur pendingin 75°C, tampak *rewetting point* yang lebih lama, dibandingkan dengan temperatur pendingin 85°C dan 95°C. Eksperimen ini menunjukkan bahwa pada temperatur pendingin 85°C dan 95°C lebih mudah berubah fase menjadi gas dibandingkan temperatur pendingin 75°C, yang pada akhirnya menyebabkan keberadaan FB lebih singkat dibandingkan dengan temperatur pendingin 75°C.

Penelitian-penelitian tersebut memperjelas bahwa berbagai parameter yang mempengaruhi proses perpindahan kalor dalam celah sempit seperti ukuran celah, panjang plat yang dipanaskan (*heated length*), serta penelitian tersebut dilakukan dalam kasus pemanasan dari satu sisi (*single heating*). Dengan demikian penelitian untuk mengetahui pengaruh temperatur awal plat utama terhadap karakteristik *rewetting* dalam celah sempit vertikal khususnya dalam kasus *bilateral heating* masih memungkinkan untuk dilakukan, sehingga pada akhirnya didapat waktu *rewetting* dan pola *rewetting* yang merupakan bagian dari karakteristik *rewetting*.

2. PERALATAN DAN PROSEDUR EKSPERIMEN

Peralatan eksperimen

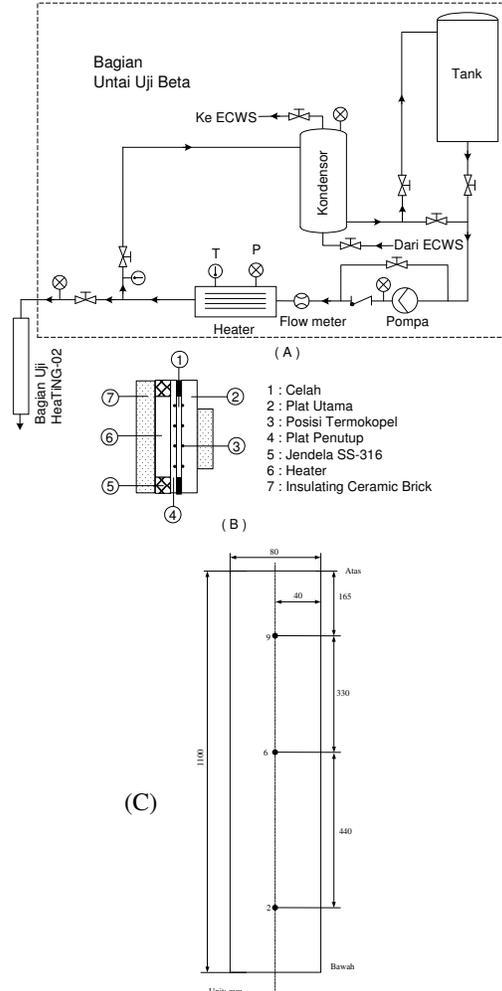
Penelitian ini menggabungkan 2 rangkaian fasilitas yaitu Untai Uji Beta dan HeaTiNG-02. Untai Uji Beta adalah alat untuk mengatur debit dan temperatur air yang mengalir kedalam celah. Untai Uji Beta memiliki pompa sentrifugal yang frekuensi putarnya dapat diatur untuk sirkulasi air pendingin, *flow meter* untuk mengukur laju aliran air pendingin, *preheater* untuk memanaskan air, termokopel dan beberapa katup untuk menutup dan mengalirkan air pendingin. HeaTiNG-02 merupakan seksi uji yang di dalamnya terdapat plat utama dan plat penutup, jarak antara plat utama dan plat penutup ditetapkan 1 mm. Pada plat utama terpasang 3 buah termokopel tipe-K, dan pada plat penutup terpasang 3 termokopel dengan tipe yang sama untuk mengukur perubahan temperatur yang terjadi selama proses pemanasan dan pendinginan. **Gambar 2** memperlihatkan skema rangkaian alatnya.

Data akuisisi sistem jenis WinDAQ T1000 yang memiliki 24 kanal digunakan untuk merekam perubahan temperatur plat selama pengujian, dengan laju perekaman 1 data per detik. *Slide regulator* dengan daya maksimal 25 kW digunakan untuk mengatur masukan daya selama pemanasan berlangsung sampai temperatur plat yang direncanakan (seperti pada Tabel 1). Daya dinaikkan perlahan-lahan agar kalor terdistribusi merata.

3. PROSEDUR EKSPERIMEN

Eksperimen diawali dengan mengatur lebar celah yaitu 1 mm, kemudian memanaskan plat utama dan plat penutup dengan keramik *heater* sampai temperatur awal plat yang direncanakan yaitu 500 C, 550 C, dan 600°C. Setelah temperatur awal tercapai, selanjutnya keramik *heater* dimatikan, dan air pendingin yang debit dan temperturnya telah diseting sebesar 0,09 lt/s dan 90°C dialirkan kedalam celah. Pengambilan data temperatur tetap dilakukan sampai seluruh termokopel pada plat utama mendekati 90°C.

Tabel 1. Parameter Penelitian



Gambar 2. (A) Skema alat penelitian, (B) Detail bagian Uji HeaTiNG-02, (C) Penempatan termokopel

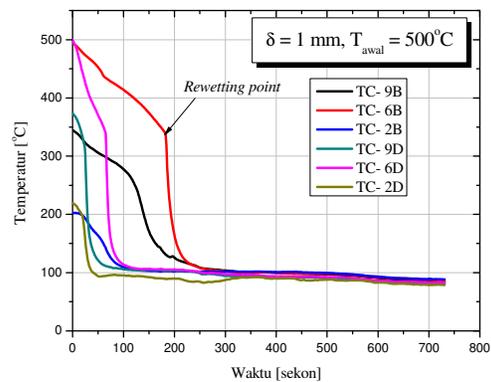
4. HASIL DAN PEMBAHASAN
Transien Temperatur

Transien temperatur adalah perubahan temperatur yang diukur oleh termokopel selama selang waktu tertentu. Transien temperatur merupakan sejarah temperatur dari awal sampai akhir proses pendinginan. Berdasarkan ketiga gambar transien temperatur menunjukkan bahwa disaat awal, temperatur plat utama maupun plat penutup cenderung mengalami penurunan yang cukup signifikan, selanjutnya setelah temperatur dibawah 100°C menurun secara perlahan-lahan sampai keseluruhan posisi termokopel mendekati temperatur 90°C, yang merupakan akhir dari proses pengambilan data. Hal ini dikarenakan oleh disaat awal belum terjadi keseimbangan *heat transfer*, dalam artian bahwa perbedaan temperatur antara air pendingin dan permukaan plat sangat besar namun belum terjadinya kontak antara air pendingin dengan permukaan plat, hal ini dikarenakan oleh permukaan plat yang diselubungi uap, sehingga hanya terjadi *heat transfer*

dalam bentuk radiasi, selanjutnya seiring dengan

Parameter	Nilai		
	I	II	III
Temperatur awal plat utama (°C)	500	550	600
Ukuran celah (mm)	01,00		
Debit air pendingin (lt/s)	00,09		
Temperatur air (°C)	90,00		

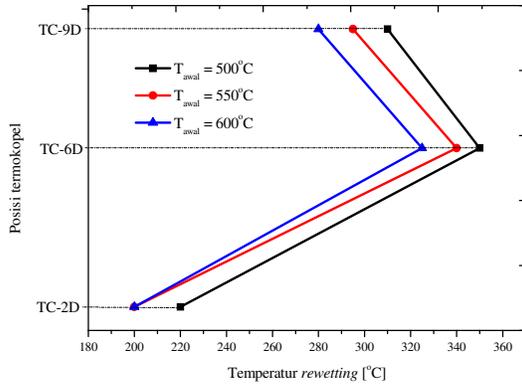
meningkatnya waktu dan ketika air pendingin kontak dengan permukaan plat (*rewetting point*), maka terjadi penurunan temperatur yang sangat drastis (*drastically drop temperature*) sehingga terjadi *heat transfer* yang sangat besar. Selanjutnya perbedaan temperaturnya tidak terlalu signifikan sehingga penurunan temperaturnya tidak terlalu drastis.



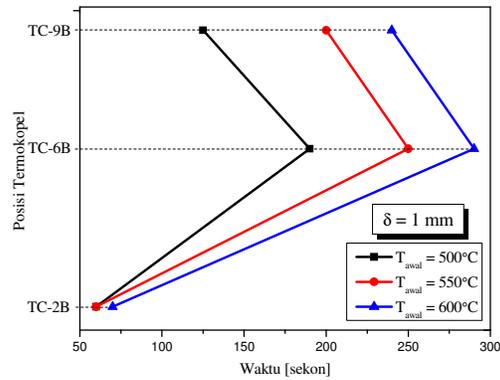
Gambar 3. Transien temperatur awal plat utama 500°C

Temperatur rewetting

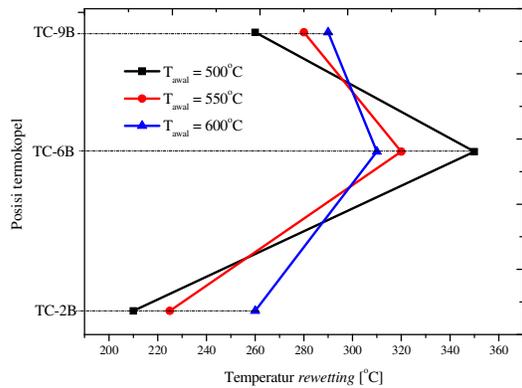
Temperatur *rewetting* merupakan temperatur saat mulai terjadinya kontak antara air pendingin dengan permukaan plat. Temperatur *rewetting* untuk plat penutup dan plat utama kecenderungannya sangat berbeda. Untuk plat penutup saat temperatur awal plat utama semakin besar maka temperatur *rewettingnya* semakin kecil, sedangkan untuk plat utama, fenomena dibagian atas sama dengan di bagian bawah namun berbeda dengan di bagian tengah yang memiliki temperatur tertinggi. Untuk plat utama dibagian atas dan bawah, semakin tinggi temperatur awal plat utama maka, semakin besar temperatur *rewettingnya*, sedangkan dibagian tengah kecenderungannya sama dengan yang terjadi pada plat penutup.



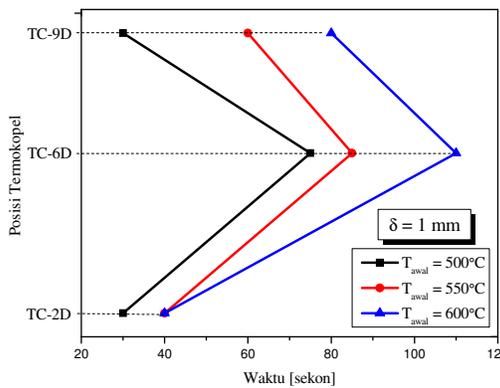
Gambar 4. Posisi termokopel vs temperatur rewetting pada plat penutup (TC-D)



Gambar 6. Posisi termokopel vs waktu rewetting pada plat utama (TC-B)



Gambar 5. Posisi termokopel vs temperatur rewetting pada plat utama (TC-B)



Gambar 7. Posisi termokopel vs waktu rewetting pada plat penutup (TC-D)

Waktu rewetting

Rewetting merupakan suatu kondisi ketika air mulai menyentuh permukaan plat. *Rewetting* poin diindikasikan dengan penurunan temperatur yang cukup drastis. Dari grafik transien temperatur dapat diketahui waktu *rewettingnya*. Untuk keseluruhan variasi temperatur awal plat, waktu *rewetting* dari plat penutup lebih cepat dari plat utama (seperti pada Gambar 6 dan 7), hal ini mengindikasikan bahwa air pendingin terlebih dahulu menyentuh permukaan plat penutup, selanjutnya air pendingin menyentuh permukaan plat utama. Kejadian ini diprediksi terjadi karena tekanan uap pada permukaan plat utama lebih besar dari tekanan uap pada permukaan plat penutup. Tekanan uap yang lebih besar karena kalor yang ditransfer dari plat utama lebih besar, *heat transfer* yang besar dikarenakan oleh massa dari plat utama yang lebih besar dari plat penutup.

Untuk plat utama waktu *rewetting* tertinggi pada TC-6B sebesar 310 detik saat temperatur awal 600°C , pada posisi yang sama, ketika temperatur awal plat 550°C dan 500°C , waktu *rewettingnya* sebesar 240 detik dan 210 detik. Pada plat penutup, waktu *rewetting* untuk TC-6D tertinggi sebesar 130 detik saat temperatur awal 600°C , sedangkan saat temperatur awal 550°C dan 500°C , waktu *rewettingnya* sebesar 110 detik dan 80 detik. Sedangkan waktu *rewetting* terendah pada TC-2B dan TC-2D dengan waktu *rewetting* sebesar 40, 50, dan 60 detik saat temperatur awal plat 500°C , 550°C dan 600°C .

Jadi, pada posisi yang sama, semakin tinggi temperatur awal plat, maka waktu *rewettingnya* semakin lama. Hal ini dikarenakan oleh semakin tinggi temperatur, maka tekanan uap yang menyelimuti permukaan plat semakin besar sehingga semakin lama waktu yang dibutuhkan air pendingin untuk kontak dengan permukaan plat.

Pola rewetting

Berdasarkan waktu *rewettingnya* dapat diketahui pola *rewetting* yang terjadi didalam celah. Pola *rewetting* dari eksperimen pada lebar celah 1 mm air pendingin awalnya menyentuh permukaan plat penutup sebelum menyentuh permukaan plat utama, hal ini dikarenakan oleh ketika terjadi proses

pendinginan temperatur plat penutup lebih cepat mengalami penurunan, sehingga tekanan uap yang menyelimuti permukaan plat penutup lebih kecil dari tekanan uap pada permukaan plat utama. Penurunan tekanan yang lebih cepat ini dikarenakan oleh plat penutup yang kontak langsung dengan udara sekitar, sehingga terjadi pendinginan dari dua sisi.

Pola *rewetting* dalam celah pada permukaan plat penutup dan plat utama dapat dijelaskan bahwa air pendingin mulai menyentuh permukaan plat dari permukaan plat bagian atas ke bawah, dan terakhir di permukaan plat bagian tengah, hal ini dikarenakan permukaan plat bagian tengah memiliki temperatur yang paling tinggi sehingga air pendingin butuh waktu yang lebih lama untuk kontak dengan permukaan plat yang terselimuti oleh uap dengan tekanan yang cukup besar. Pola *rewetting* pada semua variasi temperatur awal plat utama tidak mengalami perbedaan sehingga perubahan temperatur awal plat tidak mempengaruhi pola *rewetting*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pengaruh perubahan temperatur awal plat utama terhadap karakteristik *rewetting* yang meliputi waktu dan pola *rewetting* dapat disimpulkan bahwa:

1. Waktu *rewetting* tertinggi pada bagian tengah plat utama sebesar 310 detik saat temperatur awal 600°C, sedangkan waktu *rewetting* terendah sebesar 40 detik saat temperatur awal plat 500°C pada bagian tengah plat utama dan penutup.
2. Semakin tinggi temperatur awal plat utama, maka semakin lama waktu *rewettingnya*.
3. Perubahan temperatur awal plat utama tidak mempengaruhi pola *rewetting*.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat dan kekuatan sehingga penelitian ini bisa diselesaikan. Terimakasih juga kepada Bapak Mulya Juarsa, S.Si., M.Eng., yang memberikan ijin menggunakan bagian dari penelitian untuk disertasinya di Teknik Mesin UI, disamping itu terimakasih kepada Bapak Ismu Handoyo dan Bapak Kiswanta, yang telah membantu selama eksperimen di Lab. Termohidrolika, PTRKN, BATAN Serpong, serta crew Lab. EDFEC (Univ. Ibn Khaldun, Bogor).

DAFTAR PUSTAKA

1. Juarsa, M., dan Antariksawan, A.R., 2007, *Efek Batasan Counter Current Flow Pada Perpindahan Panas Pendidihan Dalam Celah Sempit*, Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir Tri Dasa Mega, Volume 10 No 1.
2. Riyono, B., Indarto, Juarsa, M., Sinta, T.H., Kiswanta., Ainur., Edy., Joko., Ismu H., 2010, *Analisis Eksperimental Fluks Kalor pada Celah*

Sempit Anulus Berdasarkan Variasi Temperatur Air Pendingin Menggunakan Bagian Uji HeaTING-01, Universitas Gadjah Mada.

3. Zhang, J., Tanaka, F., Juarsa, M., Mishima, K., 2003, *Calculation of Boiling Curves during Rewetting of a Hot Vertical Narrow Channel*, The 10th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics.