

ANALISIS VISUAL PENDINGINAN ALIRAN DUA FASA MENGGUNAKAN KAMERA KECEPATAN TINGGI

Ainur Rosidi, G. Bambang Heru, Kiswanta
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir

ABSTRAK

ANALISIS VISUAL PENDINGINAN ALIRAN DUA FASA MENGGUNAKAN KAMERA KECEPATAN TINGGI. Fenomena yang terjadi selama proses pendinginan aliran dua fasa pada kondisi pasca LOCA telah disimulasikan menggunakan benda uji QUEEN-02 dan divisualisasi dengan menggunakan kamera kecepatan tinggi. Kegiatan ini dimaksudkan untuk mengamati terbentuknya rejim perpindahan panas yang terjadi dan kecepatan pendinginan pada temperatur awal 350°C dan 500°C. Hasil visualisasi menggunakan kamera kecepatan tinggi memperlihatkan bahwa rejim pendidihan inti untuk pendinginan benda uji QUEEN-02 dengan temperatur awal 350°C dan kecepatan pendinginannya 4,17 cm/s, Sedangkan untuk pendinginan benda uji QUEEN-02 dengan temperatur awal 500°C memperlihatkan rejim pendidihan film dan kecepatan pendinginannya 3,43 cm/s.

Kata Kunci: pendinginan aliran dua fasa, QUEEN-02, rejim pendidihan, kamera kecepatan tinggi

ABSTRACT

VISUAL ANALYSIS OF TWO PHASES FLOW COOLING USING HIGH SPEED CAMERA. The phenomenon that occurs during the cooling process two-phase flow in the post-LOCA conditions have been simulated using the test section QUEEN-02 and visualized by using a high speed camera. This activity is intended to observe the formation of heat transfer regime occurs and the cooling velocity at the initial temperature of 350°C and 500°C. Visualization results using high-speed cameras reveal the nucleate boiling regime with the initial temperature of the test section QUEEN-02 350°C and cooling speed 4.17 cm/s, while for cooling with the initial temperature of the test section QUEEN-02 500°C showed the film boiling regime and the cooling velocity of 3.43 cm/s.

Keywords: two-phase flow cooling, QUEEN-02, boiling regime, high speed camera.

PENDAHULUAN

Aspek keselamatan tentu menjadi peran utama dalam desain dan pengoperasian suatu reaktor nuklir sehingga diperlukan manajemen keselamatan, mengingat telah terjadi beberapa kasus kecelakaan di beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Salah satu proses penting yang dibahas dalam kecelakaan pada PLTN adalah proses pendinginan teras yang merupakan salah satu manajemen kecelakaan yang harus dilakukan untuk mengakhiri kecelakaan transien pada reaktor jenis air ringan (*Light Water Reactor, LWR*). Keadaan seperti itu akan diperburuk dengan terjadinya pelelehan

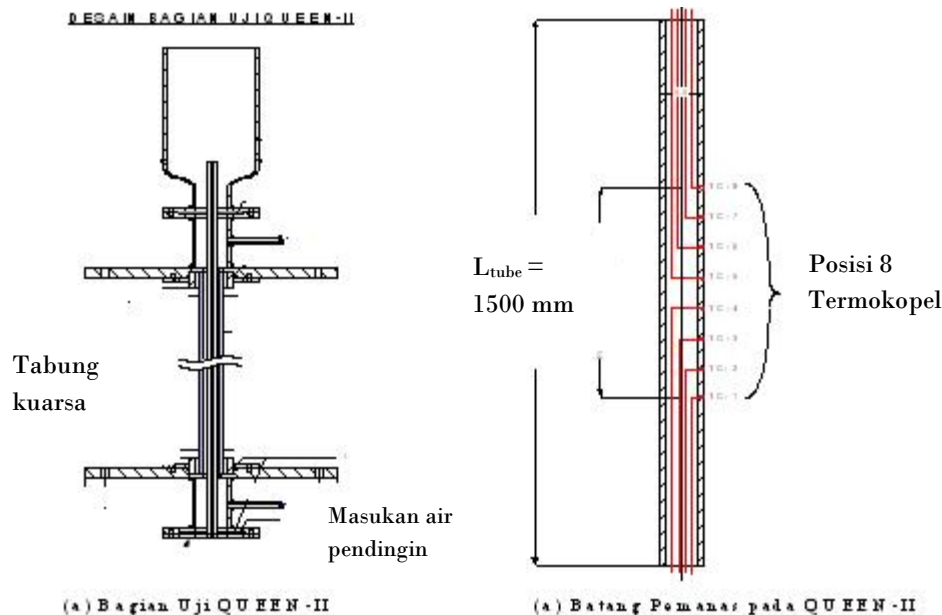
teras yang disebabkan oleh ketidaknormalan perpindahan panas pendidihan selama pasca LOCA⁽¹⁾. Selanjutnya, studi perpindahan panas pendidihan yang terjadi selama penggenangan (*reflooding*) pasca LOCA, khususnya pada PLTN tipe PWR, menjadi studi yang menarik pada penelitian di bidang teknik nuklir. Dalam konteks reaktor nuklir, keadaan kering pada dinding luar kelongsong (*cladding*) bahan bakar selama dioperasikannya injeksi Sistem Pendingin Teras Darurat (*Emergency Core Cooling System, ECCS*) telah dipelajari hampir selama dua dekade, menggunakan model eksperimental atau model analitik⁽²⁾.

Meskipun demikian, masih diperlukan untuk melakukan kegiatan riset pengamatan secara visual sebagai langkah kelanjutan dalam mengetahui kondisi transien. Dalam kegiatan ini dilakukan eksperimen visualisasi dengan menggunakan kamera kecepatan tinggi pada temperatur batang panas benda uji QUEEN – 02 dengan kecepatan aliran pendingin secara gravitasional dengan variasi temperatur awal batang panas 350°C dan 500°C. Pengamatan secara visual dilakukan untuk mengetahui pembentukan rejim pendidihan inti, pendidihan transisi dan pendidihan film, kecepatan *frame*

yang tinggi akan mampu memvisualisasikan proses pendidihan 500 gambar per detik. Dengan demikian, setiap detail perubahan dan pembentukan gelembung selama pendidihan dapat teramati dengan seksama.

PERALATAN UNTAI UJI BETA

Diagram yang menunjukkan integrasi untai uji BETA untuk simulasi eksperimen pendinginan aliran dua fasa diperlihatkan pada Gambar 1 dan Gambar 2, masing - masing memperlihatkan bagian uji QUEEN 2 dan foto dari integrasi untai uji BETA dan bagian uji QUEEN 2.



Gambar 1. Bagian Uji QUEEN-02

Eksperimen dilakukan untuk mengetahui visualisasi distribusi temperatur perpindahan panas aliran dua fasa pada kejadian pasca LOCA di PWR selama proses *quenching* menggunakan *loop* terbuka menggunakan kamera kecepatan tinggi. Penelitian ini menggabungkan 2 rangkaian fasilitas yang terintegrasi yaitu Untai Uji Beta dan QUEEN-02 seperti yang disajikan

pada gambar 2. Untai uji BETA memiliki pompa 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. QUEEN-02 merupakan benda uji yang berupa *Stainless Steel tube* 316 dan tertutup

oleh tabung dari gelas kuarsa sehingga dapat di analisis secara visual. *Stainless Steel tube* 316 memiliki *heated length* 70 cm dan terpasang termokopel tipe K 8 buah dengan jarak 10 cm antar titik termokopel, termokopel tersebut dihubungkan dengan Data Akuisisi Sistem *National Instrument* sehingga dapat merekam dengan laju perubahan temperatur tiap 1 data/detik. Sedangkan kamera kecepatan tinggi dihubungkan dengan *software* AOS dengan pengaturan kecepatan *frame* 500 gambar per detik.

Sebelum eksperimen pendinginan dilakukan, *set-up* kamera kecepatan tinggi dengan mengatur fokus dan diafragma pada bagian lensa kemudian mengkoneksikan kamera dengan *software* AOS untuk diatur pada kecepatan 500 gambar per detik. Setelah itu menutup *insulator ceramic* dan *heater cantal*

pada benda uji QUEEN-02, kemudian memanaskan *Stainless Steel tube* dan gelas kuarsa dengan cara memberikan tegangan listrik ke *heater cantal* secara bertahap dimulai dari 20 volt setelah mencapai temperatur yang steady tegangan dinaikkan lagi sampai maksimal 110 volt.

Pengaturan tegangan listrik selama pemanasan menggunakan *slide regulator voltage*. Komputer yang sudah terkoneksi dengan data akuisisi sistem *National Instrument* digunakan untuk memantau sekaligus merekam data kenaikan dan penurunan temperatur termokopel yang terpasang pada benda Uji QUEEN-02 dan Untai Uji BETA dari mulai awal pemanasan sampai berakhirnya pendinginan eksperimen. Pompa utama dan *preheater* pada untai uji BETA dihidupkan untuk mendapatkan air pendingin dengan temperatur 90 °C.



Kamera Kecepatan Tinggi

Gambar 2. Foto Bagian Uji QUEEN-02 dan Untai Uji BETA

Setelah pemanasan benda uji QUEEN-02 mencapai temperatur awal 350 °C, tegangan listrik pada *slide regulator voltage* dimatikan dan *insulator ceramic* dibuka, secara bersamaan katup pada untai uji BETA dibuka untuk mensirkulasikan air pendingin menuju benda Uji QUEEN-02 secara penggenangan dari bawah (*bottom flooding*). Pada saat air pendingin keluar dari bawah untuk mendinginkan benda uji QUEEN-02 secara bersamaan proses perekaman pada kamera kecepatan tinggi dimulai dan berakhir setelah air pendingin mencapai ujung dari benda uji QUEEN-02. Hal serupa dilakukan pada eksperimen kedua dengan temperatur penurunan awal 500 °C. Hasil distribusi penurunan temperatur dan perekaman video oleh kamera kecepatan tinggi direkam dalam komputer untuk diolah dan dianalisis lebih lanjut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Visualisasi Proses Pendinginan

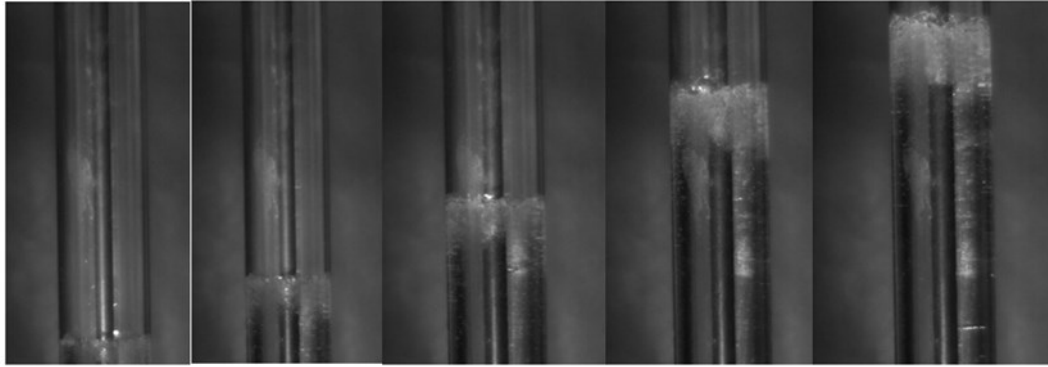
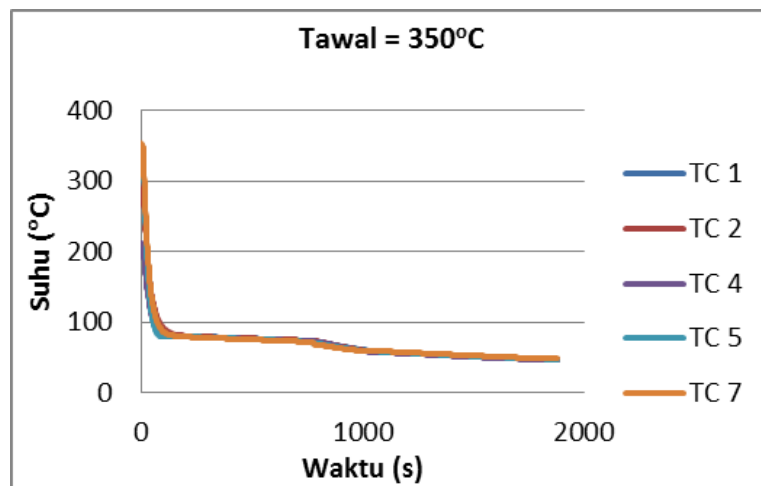
Fenomena pendinginan yang terjadi selama eksperimen divisualisasikan dengan menggunakan kamera kecepatan tinggi dengan temperatur awal 350°C dan 500°C. Pengambilan gambar difokuskan pada saat air pendingin yang berasal dari Untai Uji BETA berinteraksi dengan benda uji QUEEN-02. Pada pemanasan dengan temperatur awal 350°C heater dibuka dan secara bersamaan di alirkan air pendingin dengan temperatur 90°C dari untai uji BETA, seperti yang disajikan pada Gambar 3. Terjadi fenomena pendinginan pada aliran dua fasa yang terjadi dengan temperatur awal 350°C, tampak pada benda uji QUEEN-02 ketika air mulai

menyentuh permukaan benda uji QUEEN-02 terjadi penurunan temperatur yang cukup drastis. Dengan seketika temperatur pada benda uji QUEEN-02 mengalami penurunan suhu yang cukup tajam dan selanjutnya setelah temperatur dibawah 100°C menurun secara perlahan-lahan sampai keseluruhan posisi termokopel mendekati temperatur 50°C, yang merupakan akhir dari proses pengambilan data seperti yang disajikan pada kurva Gambar 4.

Pada temperatur awal 350°C ini terjadi pendidihan inti, rejim ini merupakan konveksi aliran dua fasa di mana mulai muncul dan meninggalkan permukaan benda uji QUEEN-02⁽³⁾. Hal ini dikarenakan oleh disaat awal belum terjadi keseimbangan heat transfer, karena adanya perbedaan temperatur antara sirkulasi air pendingin dan permukaan benda uji QUEEN-02 sangat besar dan belum terbentuk lapisan film, karena karena langsung bersentuhan antara air pendingin dengan permukaan benda uji QUEEN-02.

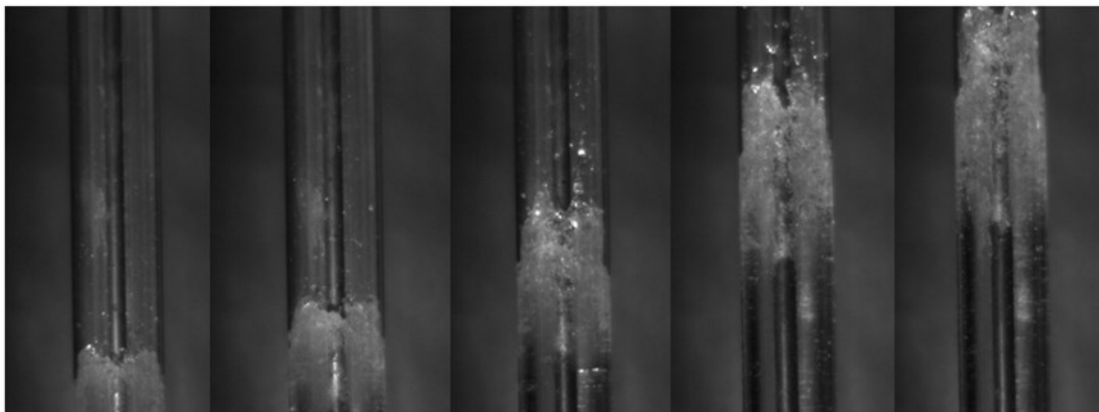
Gambar 5 memperlihatkan hasil visualisasi mekanisme distribusi pendinginan untuk temperatur awal 500°C, pada awal pendinginan dengan kecepatan 500 fps terbentuk pendidihan film yang berlangsung lama seperti yang terlihat pada gambar dengan adanya suatu lapisan uap stabil yang terbentuk di antara permukaan panas dan cairan⁽³⁾.

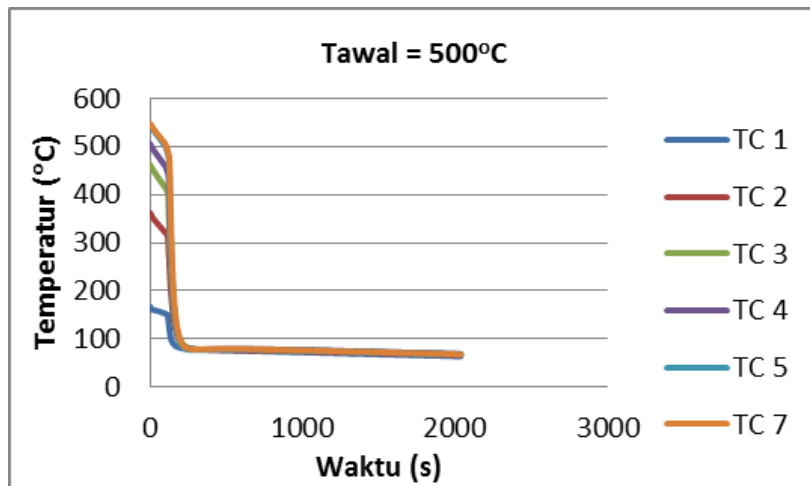
Setelah sirkulasi air pendingin dialirkan ke benda uji QUEEN-02 penurunan temperatur tidak langsung tajam karena sudah terbentuk lapisan film yaitu belum terjadinya kontak antara air pendingin dengan permukaan benda

Gambar 3. Foto Proses Pendinginan pada $T = 350^{\circ}\text{C}$ Gambar 4. Transien temperatur pendinginan $T = 500^{\circ}\text{C}$

uji QUEEN-02, hal ini dikarenakan oleh permukaan *Stainless Steel tube* yang diselimuti uap, sehingga hanya terjadi *heat transfer* dalam bentuk radiasi, selanjutnya seiring dengan meningkatnya waktu dan ketika sirkulasi air

pendingin bersentuhan dengan permukaan benda uji QUEEN-02 maka terjadi penurunan temperatur yang sangat drastis sehingga terjadi *heat transfer* yang sangat besar seperti yang disajikan pada kurva Gambar 6.

Gambar 5. Foto Proses Pendinginan pada $T = 500^{\circ}\text{C}$



Gambar 6. Transien temperatur pendinginan T = 500°C

Kecepatan Pendinginan

Kecepatan pendinginan pada kedua eksperimen dapat ditentukan dengan perhitungan sederhana dengan menetapkan panjang benda uji yaitu 70 cm. kemudian panjang tersebut dibagi oleh interval waktu terjadinya pendinginan. Pesamaan sederhana yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$v_{pen} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{70}{\Delta t} \left[\frac{cm}{detik} \right]$$

dengan,

Δx = panjang benda uji QUEEN-02 [cm]

Δt = interval waktu pendinginan [detik]

Dengan memasukkan interval waktu terjadinya pendinginan pada kedua eksperimen di peroleh tabel hasil perhitungan kecepatan pendinginan sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil perhitungan eksperimental kecepatan pendinginan

Temperatur [°C]	Waktu [detik]	Kecepatan [cm/detik]
350 °C	16.8	4.17
500 °C	20.4	3.43

Hasil perhitungan pada Tabel 1 menjelaskan kecepatan pendinginan makin kecil seiring dengan kenaikan temperatur awal benda uji QUEEN-02.

KESIMPULAN

Hasil visualisasi menggunakan kamera kecepatan tinggi memperlihatkan rejim pendidihan inti untuk pendinginan dengan temperatur awal 350°C pada benda uji QUEEN-02 dan kecepatan pendinginannya 4,17 cm/s, Sedangkan untuk pendinginan dengan temperatur awal 500°C pada benda uji QUEEN-02 memperlihatkan rejim didih film dan kecepatan pendinginannya 3,43 cm/s.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada rekan-rekan di team termohidraulika BOFa-PTRKN dan Mahasiswa Tugas akhir dari Fakultas Teknik Mesin UNPAM dan Fakultas Teknik Mesin UNAS Jakarta yang telah berkerja sama selama eksperimen dan pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

1. Juarsa, M., et. al., *Analysis on Heat flux in Annulus Narrow Gap with Initial Temperatur Variations using HeaTiNG-01 Test Section*, Proceeding of National Seminar on Nuclear Technology and Science, Bandung, 2009
2. Juarsa, M., *Simulasi Eksperimental Kecelakaan Parah Pada Pemahaman Aspek Manajemen Kecelakaan*, Jurnal Pengolahan Limbah, Juli 2007
3. Kreith, F., terjemahan Arko Prijono, *Prinsip Prinsip Perpindahan Panas*, Erlangga, Jakarta, 1997