

INTISARI

Pembangkit listrik tenaga nuklir merupakan salah satu sumber energi alternatif dalam memenuhi kebutuhan manusia akan energi yang semakin meningkat, pengembangan energi nuklir terus dilakukan baik di negara maju maupun negara berkembang. Pembangkit listrik tenaga nuklir jenis *Pressurized Water Reaktor* (PWR) merupakan salah satu jenis yang populer dan banyak digunakan. Pembangkit tipe PWR ini mempunyai sistem dengan menggunakan dua sirkuit dalam pengoperasiannya, yaitu sirkuit primer dan sirkuit sekunder. Inti reaktor harus didinginkan menggunakan air bertekanan yang mengalir di sirkuit primer, pada kasus *loss of coolant accident* (LOCA) terjadi kebocoran pada sirkuit primer yang menyebabkan tekanan turun mendadak (*pressure drop*) pada sirkuit primer yang menyebabkan perubahan fasa pada cairan pendingin menjadi uap jenuh. Hal ini sangat berbahaya karena dapat memicu kecelakaan nuklir akibat kegagalan pendinginan. Kasus LOCA ini diawali dengan adanya fenomena *flooding*, yaitu kondisi dimana air kondensat yang dialirkan dari *Steam Generator* (SG) menuju *Reaktor Pressure Vessel* (RPV) berbalik arah menuju SG. Pada perkembangannya fluida kerja pada sirkuit primer mulai berkembang tidak hanya menggunakan air (*light water*), tetapi mulai dikembangkan fluida lainnya seperti air berat (*heavy water*) maupun menggunakan fluida non air seperti *liquid metal*. Perkembangan fluida kerja ini digunakan untuk mengakomodir penggunaan dari berbagai jenis bahan bakar nuklir, akibatnya karakter fisis dari fluida kerja juga memiliki karakteristik yang berbeda dari penggunaan air biasa.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji fenomena *flooding* dan pengaruh sifat salah satu sifat fisis yaitu viskositas pada sirkuit primer reaktor dengan tipe PWR, dimana seperti penjelasan sebelumnya penggunaan fluida kerja pada sirkuit primer semakin berkembang dan bervariasi. Sehingga pengembangan penelitian sifat fisis fluida kerja sirkuit primer pada reaktor PWR harus dikembangkan. Alat simulator yang digunakan menggunakan geometri referensi *Upper Plenum Test Facility* (UPTF) Jerman skala 1:30. Simulator ini memiliki diameter dalam pipa $D = 25,4$ mm, panjang pipa horizontal $L = 610$ mm, dengan kemiringan sebesar 50° . Perbandingan L/D dan I/D pada penelitian ini masing-masing adalah 24 dan 1,9. Analisis fenomena *flooding*

dilakukan dengan menggunakan *high speed camera* dan *image processing* untuk mengamati fenomena *flooding*. Pengamatan menggunakan *parallel wire* juga dilakukan untuk validasi.

Penulis melakukan analisis mekanisme *flooding* dengan tiga variasi cairan yaitu aquades murni, campuran air dengan 25 % gliserol, dan campuran air dengan 50 % Gliserol. Seiring bertambahnya kecepatan superficial cairan, *locus* terjadinya *onset of flooding* mendekati daerah RPV. *Onset of flooding* diawali dengan *hydraulic jump* yang berkembang menjadi *small roll wave* lalu berkembang menjadi *large roll wave* hingga kemudian terjadi penyumbatan (*liquid slug*). Dari olah citra menggunakan *image processing*, seiring bertambahnya kecepatan superficial gas, kurva PDF *liquid holdup* cenderung bergeser ke kanan yang menunjukkan kenaikan ketinggian air, analisa *wavelets* juga menunjukkan fluktuasi semakin besar. Sementara peningkatan viskositas akan menyebabkan kurva PDF akan semakin menyempit, analisa fluktuasi *wavelets* yang terjadi semakin kecil akibat meningkatnya gaya geser untuk membentuk gelombang. Pada penelitian ini Analisa *wavelets* dapat digunakan untuk validasi pola aliran yang terjadi berdasarkan distribusi detail dan aproksimasi, dimana pada kondisi tertentu pengamatan visual menyebabkan ketidakpastian. Data yang diolah dilakukan validasi menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN) dengan menggunakan persamaan CCFL yang telah ada sebelumnya, hasilnya error data masih dalam batasan yang memuaskan sekitar 30 %.

Kata Kunci : PWR, *hot-leg*, *onset of flooding*, *image processing*, *liquid holdup*,
, PDF, ANN, *Wavelets*.

ABSTRACT

Nuclear power plants are one of the alternative energy sources to meet the increasing human need for energy, the development of atomic energy continues to be carried out in both developed and developing countries. Pressurized Water Reactor (PWR) type nuclear power plant is one of the most popular and widely used types. PWR Reactor has a system using two circuits in its operation, namely primary circuit and secondary circuit. The PWR reactor core must be cooled using pressurized water flowing in the primary circuit, in the case of a loss of coolant accident (LOCA) a leak occurs in the primary circuit, which causes a sudden pressure drop in the primary circuit, these conditions causing the coolant become saturated vapor. This is very dangerous because it can trigger a nuclear accident due to cooling failure. This LOCA case begins with a flooding phenomenon, where the condensate water which flowing from the Steam Generator (SG) to the Pressure Vessel Reactor (RPV) reverses direction towards the SG again. In its development, the working fluid in the primary circuit began to develop not only using (light water), but other fluids such as heavy water (heavy water) and liquid metal began to be developed. The development of this working fluid is used to accommodate the use of various types of nuclear fuel, as a result the physical character of the working fluid also has different characteristics from the use of ordinary water.

This study examines the flooding phenomenon and the effect of one of the physical properties, specifically viscosity in the PWR type reactor primary circuit, whereas previously explained the type of working fluid in the primary circuit is still developing. Research development of the physical properties of the primary circuit working fluid in the PWR reactor must be developed. The simulator used in this research is German Upper Plenum Test Facility (UPTF) reference geometry with a scale of 1:30. This simulator has an inner pipe diameter of $D = 25.4$ mm, a horizontal pipe length of $L = 610$ mm, with a slope of 50° . The ratio of L/D and I/D in this study was 24 and 1.9, respectively. The analysis of the flooding phenomenon was carried out using a high-speed camera and image processing to observe the flooding phenomenon. Observations using parallel wire were also carried out for validation.

The author analysed the flooding mechanism with three liquid viscosity variations: Pure distilled water, water with 25% glycerol, and water with 50% glycerol

As the superficial fluid velocity increases, the locus position of onset of flooding tends to occur near the RPV area. The onset of flooding begins with a hydraulic jump which develops into a small roll wave and then develops into a large roll wave until a liquid slug occurs. From image processing using image processing, as the superficial gas velocity increases, the PDF liquid holdup curve tends to shift to the right which indicates an increase in water level, wavelets analysis also shows more significant fluctuations. While the increase in viscosity will cause the PDF curve to be narrower, the analysis of wavelet fluctuations is getting smaller due to decreases wave fluctuation. In this study, wavelets analysis can validate the flow pattern that occurs based on the distribution of details and approximations, where visual observations cause uncertainty under certain conditions. The processed data was validated using an Artificial Neural Network (ANN) using the previously existing CCFL equation, the result was that the data error was still within acceptable limits of around 30%.

Keywords: PWR, hot-leg, onset of flooding, image processing, liquid holdup, PDF, ANN, Wavelets