



## About the Journal

**Rekayasa Mesin** is published by Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Brawijaya, Malang-East Java-Indonesia. **Rekayasa Mesin** is an open-access peer reviewed journal that mediates the dissemination of academicians, researchers, and practitioners in mechanical engineering. **Rekayasa Mesin** accepts submission from all over the world, especially from Indonesia.

**Rekayasa Mesin** aims to provide a forum for national and international academicians, researchers and practitioners on mechanical engineering to publish the original articles. All accepted articles will be published and will be freely available to all readers with worldwide visibility and coverage.

The scope of **Rekayasa Mesin** is **specific topics issues** in mechanical engineering such as design, energy conversion, manufacture, and metallurgy.

In terms of plagiarism and self-plagiarism, the similarity index from multiple sources **should not exceed 20 %** and from a single source **should not exceed 5%**. **Rekayasa Mesin** uses a plagiarism detector to screen articles for detecting plagiarism. Detection of overlapping and similar text is used there and so quotations and appropriate citations have to be used whenever required.

All articles submitted to this journal can be written in **Bahasa and English Language**.

**Rekayasa Mesin** has been indexed in [Directory of Open Access Journals \(DOAJ\)](#), [SINTA](#), [Google Scholar](#), and [Garba Rujukan Digital \(GARUDA\)](#).

**Rekayasa Mesin** has been nationally **reaccredited** by the Ministry of Research and Technology/National Research and Innovation Agency of the Republic of Indonesia (Volume 11 No 2 2020 - Volume 16 No 1 2025) and indexed in **SINTA 2**.

Decree No. **200/M/KPT/2020 on December 23rd, 2020**

**P-ISSN** [2338-1663](#) | **E-ISSN** [2477-6041](#) | **DOI prefix** [10.21776/ub.jrm](#)

---

### New Template for Rekayasa Mesin Publication

 2023-06-02

We would like to announce that **Rekayasa Mesin** has a new layout style. This change is starting from May 2023 edition. For articles written using the old layout will be asked to change it after the article is **Accepted**.

Thank you very much.

[Read More](#) >

[Email Address of Author](#)

📅 2022-02-17

### Reaccredited of Rekayasa Mesin

📅 2021-02-21

### Journal Subscription

📅 2016-08-26

---

## Current Issue

**Vol. 15 No. 2 (2024)**

**Published:** 2024-08-15

## Articles

### PERBANDINGAN PENGGUNAAN KONDENSOR BERPENDINGIN UDARA DENGAN KONDENSOR BERPENDINGIN AIR PADA LEMARI PENDINGIN

Agus Dwi Korawan

561-571

 PDF

### STUDI NUMERIK KARAKTERISTIK PENGABUTAN BAHAN BAKAR DIESEL, BIODIESEL DAN CAMPURANNYA

Intan Hardiatama, Muhammad Lutfi Aziz, Nasrul Iliminifik, Andi Sanata, Ahmad Adib Rosyadi

573-586

 PDF

### PERSAMAAN REGRESI LINIER BERGANDA UNTUK MEMREDIKSI EFISIENSI BOILER

Eko Sarwono, Martin Choirul Fatah , I Made Indradjaja Marcus Brunner Brunner

587-603

 PDF

### ANALISIS KINERJA MESIN ROTARY DRYER BERBAHAN BAKAR GAS LPG UNTUK PENDINGINAN GABAH

Abdul Mukhlis Ritonga, Mustaufik, Adeka Sangtraga Hitapriya Hitapriya , Jannata Utswatun Khasan0ah Khasan0ah

605-618

 PDF

### A RECENT REVIEW ON THE FAILURE ANALYSIS OF BOILER TUBE

Faris Fadhil Utomo, Muhammad Ibnu Rashid, Ariyana Dwiputra Nugraha, Muhammad Akhsin Muflikhun Muflikhun

619-646

 PDF

### ANALISIS PENGARUH MEDAN MAGNET TERHADAP UKURAN ATOMISASI BAHAN BAKAR CAMPURAN GASOLINE DAN BIOETANOL

Tatun Hayatun Nufus, Dianta Mustofa Kamal, Gun Gun R Gunadi, Candra Damis Widiawati, Asep Apriana, Muhammad Todaro  
647-655

 PDF

### **INVESTIGASI MIKROSTRUKTUR DAN KEKERASAN MATERIAL GEARBOX TRAKTOR TANGAN DENGAN METODE PENGECORAN LOGAM**

Roni Kusnowo, M. Rizki Gorbyandi Nadi, Gita Novian Hermana, Ari Siswanto , Muhammad Nahrowi , Cecep Ruskandi , Yun Gemilang  
657-667

 PDF

### **EFEK METODE FABRIKASI TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA MATERIAL KOMPOSIT SANDWICH 3C3 KARBON UD 12 K 0°/DIVINYCELL CORE**

Nurul Lailatul Muzayadah Muzayadah, Indah Fitri Hardiyant, Afid Nugroho Nugroho, Rian Suari Aritonang Aritonang, Taufiq Satrio Nurtiasto Nurtiasto  
669-683

 PDF

### **OPTIMASI PARAMETER PROSES 3D PRINTING TERHADAP KELENGKUNGAN SOFT PNEUMATIC GRIPPER DENGAN MENGGUNAKAN FILAMENT EFLEX**

Hasdiansah Hasdiansah, Thala Viniolita Viniolita , Pristiansyah Pristiansyah , Herianto Herianto  
685-692

 PDF

### **OPTIMIZATIONS THE TENSILE-SHEAR STRENGTH OF TIG WELDING PARAMETERS FOR MILD STEEL AT DIFFERENT MATERIAL THICKNESSES**

Arul Basit, Tegar Dwicahyo, Sukarman Sukarman, Khoirudin Khoirudin, Ade Suhara  
693-706

 PDF

### **DESIGN AND TEST THE PERFORMANCE OF THE WATER HEATER BY UTILIZING THE EXHAUST HEAT OF THE LABORATORY SCALE AIR CONDITIONER**

-

Gunarto Gunarto, Eko Julianto, Muhammad Iwan  
707-717

 PDF

### **UJI EFISIENSI ANODA KORBAN PADUAN ALUMINIUM DAN ZINC MENGGUNAKAN STANDAR UJI DNV RP-B401 TERHADAP VARIASI TEMPERATUR ELEKTROLIT**

Tubagus Noor Rohmannudin, Sulistijono Sulistijono , Willy Deviet Kusuma, Grace Aghata Sitorus  
719-728

 PDF

## **OPTIMIZATION OF INJECTION MOLDING PARAMETERS TO MINIMIZE SHRINKAGE AND MAXIMIZE TENSILE STRENGTH IN THE RECYCLING PROCESS OF DISPOSABLE FACE MASKS**

Irvan Bayu Widyasmoro, Indah Widiastuti, Yuyun Estriyanto, Khansa Qonitatillah Budiyo  
729-739

 PDF

## **PEMBANGKITAN TEGANGAN MENGGUNAKAN KARBON AKTIF TEMPURUNG KELAPA DENGAN ELEKTROLIT AIR**

Si Putu Gede Gunawan Tista, I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa, Ketut Astawa, I Gusti Ngurah Putu Tenaya, Komang Metty Trisna Negara  
741-755

 PDF

## **IMPLEMENTASI STOKASTIK PADA INVESTIGASI PENGARUH I/D TERHADAP PERILAKU ANTARMUKA ALIRAN BERLAWANAN ARAH DI GEOMETRI 1/30 HOT LEG PWR MENGGUNAKAN SENSOR KONDUKTANSI**

Achilleus Hermawan Astyanto, Muchsin Muzafar Rasyidi, Akhlisa Nadiantya Aji Nugroho, Alfikri Ikhsan, Dede Rafico Saleh  
757-769

 PDF

## **SMART ANDON SYSTEM BASED ON INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS (IIOT)**

Wahyudi Purnomo, Gun Gun Maulana, Fitria Suryatini, Adhitya Sumardi Sunarya  
771-781

 PDF

## **PENGARUH WATER COOLANT TERHADAP EFEKTIFITAS RADIATOR PADA MESIN TOYOTA KIJANG SERI 4K**

Eddy Elfiano, Heri Suripto, Kurnia Hastuti, Jhonni Rahman, Purwo Subekti, Eho Zinomeza  
783-795

 PDF

## **PERANCANGAN SISTEM KONSTRUKSI MEKANIK 3D PRINTER GEOPOLYMER TYPE CARTESIAN**

Heri Setiawan, Rani Nopriyanti, Antonius Adi Soetopo, Nandang Rusmana, Iwan Gunawan, Pandoe, Herman Budi Harja, Faisal Rahmat Hadi  
797-807

 PDF

## **RANCANGAN TRACKING MATERIAL SYSTEM UNTUK PELACAKAN DAN PEMINDAHAN KOMPONEN ANTAR GUDANG (STUDI KASUS PT. PINDAD)**

Ilham Afif, Pratikto, Yeni Sumantri  
809-821

 PDF

## **PLANNING AND SCHEDULING IN AUTOMATIC TRAIN SIGNALING MAINTENANCE: A REVIEW**

Rachmad Dwi Raharjo, Satrio Wicaksono, Bagus Budiwantoro  
823-835

 PDF

## **PENGARUH JUMLAH ISIAN PROPELAN TERHADAP KECEPATAN PROYEKTL MUNISI KALIBER 40X46 MM NON-LETHAL**

Yudistira Sanjiwani, Pratikto Pratikto, Yudy Surya Irawan

837-847

 PDF

## **KARAKTERISASI SIFAT FISIK, KIMIA, DAN MEKANIK SERAT SELULOSA ALAMI DARI AMPAS TEBU**

Sis Nanda Kus Andrianto, Femiana Gapsari Madhi Fitri, Widya Wijayanti

849-861

 PDF

## **FEASIBILITY STUDY OF GROUND ENHANCEMENT MATERIAL (GEM) PRODUCTION STARTUP AS AN IMPORT SUBSTITUTION BASED ON TECHNOLOGICAL AND FINANCIAL ASPECTS**

Jakah Jakah, Andis Prisantoro, Putra Zaki Farakhan, Herwin Syah, Eko Tri Sumarnadi, Wawan Herawan

863-874

 PDF

## **PENGARUH PENAMBAHAN RADIUS PADA KECEPATAN DAN FREKUENSI SLUG DI DAERAH DOWNSTREAM T-JUNCTION MINICHANNEL**

Leila Hanjani Hananto, Indarto, Untung Surya Dharma, Deendarlianto

875-884

 PDF

## **PIROLISIS MENGGUNAKAN SCREW SEBAGAI PRESSURE DROP DAN SIRIP PADA KONDENSOR**

Erlanda A Pane, Stevanus Budi Rahardjo, Ismail Ismail

885-899

 PDF

## **DEVELOPMENT OF MASSAGE CHAIR MADE OF CARDBOARD MATERIALS: DESIGN, FABRICATION, AND STRENGTH EVALUATION**

Siti Zulaikah, Farid Triawan, Bentang Arief Budiman, Yusuf Romadhon

901-910

 PDF

## **REVIEW: VARIOUS TREATMENTS NAOH, SEA WATER, FUMIGATION, LIQUID SMOKE TO IMPROVE TENSILE STRENGTH AND SURFACE MORPHOLOGY OF NATURAL FIBER**

Mukhlis Muslimin, Willy Artha Wirawan, Musa Bondaris Palungan

911-918

 PDF

## **IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN PROTOTIPE TURBIN JENIS PROPELLER UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO**

Rafiandi Dyaa Sudiro, Levin Halim, Bagus Made Arthaya

919-936

 PDF

### **KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH PARAMETER OPERASI TERHADAP PEMECAHAN GELEMBUNG DAN KINERJA PEMBANGKIT GELEMBUNG MIKRO TIPE SWIRL**

Drajat Indah Mawarni, Wiratni Budhijanto Budhijanto , Deendarlianto Deendarlianto , Hartono Guntur Ristiyanto Ristiyanto , Wawan Dedi Marahendra Marahendra , Indarto Indarto

937-944

 PDF

### **EVALUASI KONVERSI DAN DISTRIBUSI ENERGI PADA RESEARCH TEST ENGINE TIPE 240PE BERBAHAN BAKAR GASOLINE JENIS PERTALITE**

Marthen Paloboran, Thesya Atarezcha Pangruruk Pangruruk , Darmawang Darmawang, Yunus Tjandi Tjandi , Yasdin Yasdin , Wabdillah Wabdillah , Wabdillah Wabdillah , Udin Sidik Sidin, Asmeati Asmeati

945-954

 PDF

### **SIMULASI NUMERIK ALIRAN FLUIDA PADA KINCIR AIR MENGGUNAKAN METODE SLIDING MESH INTERFACE**

Agato Agato, Deendarlianto Deendarlianto, Indarto Indarto, Alfeus Sunarso

955-966

 PDF

### **PENGARUH VARIASI TEMPERATUR FURNANCE BRAZING TERHADAP SIFAT MEKANIK DALAM PEMBUATAN GRINDING ROLL MATERIAL FCD 500 DAN NI-HARD1**

Ari Siswanto, Kus Hanaldi , Wiwik Purwadi , M. Rizki Gorbyandi Nadi

967-978

 PDF

### **REVIEW OF SPEED PROFILE OPTIMIZATION METHODS FOR ENERGY EFFICIENCY IN TRAIN**

Kusuma Abdillah, Leonardo Gunawan Gunawan , Yunendar Aryo Handoko Handoko

979-996

 PDF

### **PREDICTION OF LOCATOR PIN ERRORS IN FACING PROCESS USING NEURAL NETWORK AND SUPPORT VECTOR REGRESSION**

Ramdhani Yusli Arbain Sugoro, Agung Wibowo, Kurniawan Aji Muhammad

997-1006

 PDF

### **ANALISIS KINERJA KOMPOR GAS BERBAHAN BAKAR DIMETHYL ETHER DENGAN VARIASI DIAMETER LUBANG ANGIN PADA NOSEL**

Seno Sutrisno, Sigit Iswahyudi, Rany Puspita Dewi

1007-1021

 PDF

### **OBSERVASI PENURUNAN TEKANAN (PRESSURE DROP) PADA SISTEM PERPIPAAN: PENGARUH PANJANG DAN DIAMETER PIPA, ELBOW, DAN TEE**

Nuryoto Nuryoto, Rahmayetty Rahmayetty, Yusuf Rumbino, Astrilia Damayanti, Doni Rahmat Wicakso  
1023-1039

 PDF

### **MOLD DESIGN AND FLOW ANALYSIS FOR PRODUCT PROPELLER APC SF 11X4.7 WITH MINIMUM SHRINKAGE AND WARPAGE**

Wahyu Puji Sahputra, Cahyo Budiyanoro, Gesang Nugroho, Muhammad Kevin Adam  
1041-1051

 PDF

### **POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR HUJAN PLTAH SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK PIRANTI ELEKTRONIK RUMAH TANGGA**

Zuffa Anisa, Erwanto Erwanto  
1053-1065

 PDF

### **PERANCANGAN ALAT BENCH TEST DENGAN 5 VALVE UJI CLASS 800 UNTUK SATU SIKLUS**

Felix Dionisius, Muhammad Taqiyjudin Annabani, Suhardi Suhardi, Chaerul Chaerul  
1067-1078

 PDF

### **PENGARUH PERSENTASE ZIRCONIA BALL TERHADAP VOLUME MILL JAR PADA PROSES PENGHALUSAN SERBUK KERAMIK ALUMINA DENGAN ALAT HORIZONTAL BALL MILL**

Ade Indra, Fadrian Wigianto Wigianto, Mastariyanto Perdana  
1079-1090

 PDF

### **PENGARUH SILIKA TERHADAP KARAKTERISTIK FILM LATEKS KARET ALAM DALAM PENGAPLIKASIAN BLADDER COMPRESSION MOULDING**

M. Sagitra Pranata, G. Nugroho, Ihda Novia Indrajati, Indiah Ratna Dewi  
1091-1098

 PDF

### **ANALISIS EKSPERIMENTAL PENGARUH BELOKAN TAJAM DAN SUSUNAN PIPA TERHADAP PERPINDAHAN PANAS PADA SOLAR WATER HEATER**

Muhammad Syukri Nasution, Ahmad Syuhada, Razali Razali  
1099-1108

 PDF

## **ANALISIS PENGARUH BENTUK LUBANG TERHADAP KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS PADA MENARA PENDINGIN TIPE PLAT DATAR BERLUBANG BERTINGKAT**

Yulanda Dwi Mustika, Ahmad Syuhada, Razali Razali  
1109-1119

 PDF

## **EFFECT OF DIAMETER BEARING MOUNTS TO STRESS CONCENTRATION FACTOR ON TRUCK GEARBOX CASING**

Rakhmad Arief Siregar, Muhammad Yusuf Rahmansyah Siahaan; Mahmud Rizal  
1121-1128

 PDF

## **ANALISIS PENGARUH PERBEDAAN SURFACE PREPARATION DENGAN VARIASI JENIS CAT TERHADAP KEKUATAN ADHESI DAN KETAHANAN IMPACT COATING PADA BAJA SS400**

Zahra Sativa , Parlindungan Manik Manik , Ocid Mursid  
1129-1141

 PDF

## **STUDI PENGARUH PERLAKUAN ALKALI TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI KOMPOSIT SERAT PELEPAH KELAPA SAWIT BERMATRIK UREA FORMALDEHIDA**

Budi Istana, Lega Putri Utami  
1143-1151

 PDF

## **RANCANGAN SISTEM HIDROLIK PADA FRONT ATTACHMENT ALAT PERAGA MINI EXCAVATOR**

Sigit Purwanto , Nyayu Aisyah , Braam Delfian Prihadianto, Radhian Krisnaputra , F. Eko Wismo , Irfan Bahiuddin  
1153-1163

 PDF

## **KINERJA SISTIM HIDROLIK PADA UNIT EXCAVATOR 320D2 CATERPILLAR**

Abdul Halim , Ma'arif Fadli , Mangkona Mangkona  
1165-1174

 PDF

## **MEL-FREQUENCY CEPSTRAL COEFFICIENTS (MFCC) FEATURE FOR PUMP ANOMALY DETECTION IN NOISY ENVIRONMENTS**

Anindita Adikaputri Vinaya, Tiffani Febiola Aciandra  
1175-1186

 PDF

## **DYNAMIC ANALYSIS OF NON-PNEUMATIC TIRES WITH HONEYCOMB SPOKES ON SPEED BUMPS**

Rachmat Sriwijaya, Fakhri Ghiffari , Zahran Ra'if , Burhani Wijaya  
1187-1201

 PDF





# IMPLEMENTASI STOKASTIK PADA INVESTIGASI PENGARUH I/D TERHADAP PERILAKU ANTARMUKA ALIRAN BERLAWANAN ARAH DI GEOMETRI 1/30 HOT LEG PWR MENGGUNAKAN SENSOR KONDUKTANSI

Achilleus Hermawan Astyanto

<https://orcid.org/0000-0002-0199-3839>

Muchsin Muzafar Rasyidi

Akhliisa Nadiantya Aji Nugroho

Alfikri Ikhsan

Dede Rafico Saleh

DOI: <https://doi.org/10.21776/jrm.v15i2.1531>

**Keywords:** Statistical Parameter, Flow Pattern, Flow Rate, Two-Phase Flow, Gas flow rate

## Abstract

*A small leakage in the primary circuit of a nuclear power plant reactor may trigger the occurrence of countercurrent flow which probably develops into a flooding regime followed by the zero penetration caused core cooling failure. During extensive studies in the flooding phenomena in the PWR hot leg, the geometry effects have been widely investigated. The present study investigates the effects of I/D ratios of the riser on the interfacial fluctuations during the counter-current flow on a 1/30 scaled down PWR hot leg geometry. Here, the liquid film fluctuations were acquired by using parallel wire array probes on the basis of a conductance concept. Three I/D ratios which were varied consisted 1.9 (R1), 3.9 (R2) and 8.3 (R3). The obtained data were analyzed on the basis of both time and frequency domains. From the PDF the flooding regime obtains multimodal distributions, while the PSD approaches lower frequencies with higher magnitudes corresponding to either the occurrence of water blockage or slugs.*

**Keywords:** I/D ratio, water level fluctuation, counter-current flow, PWR hot leg, parallel wire array probe, stochastic analysis.

## References

Deendarlianto, A. Ousaka, A. Kariyasaki, and T. Fukano, "Investigation of liquid film behavior at the onset of flooding during adiabatic counter-current air-water two-phase flow in an inclined pipe," Nucl. Eng. Des., vol. 235, no. 21, pp. 2281–2294, 2005, doi: 10.1016/j.nucengdes.2005.03.006.

Deendarlianto et al., "The effects of surface tension on flooding in counter-current two-phase flow in an inclined tube," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 34, no. 7, pp. 813–826, 2010, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2010.01.010.

Deendarlianto, C. Vallée, D. Lucas, M. Beyer, H. Pietruske, and H. Carl, "Erratum: Experimental study on the air/water counter-current flow limitation in a model of the hot leg of a pressurized water reactor (Nuclear Engineering and Design)," *Nucl. Eng. Des.*, vol. 241, no. 8, pp. 3359–3372, 2011, doi: 10.1016/j.nucengdes.2011.02.028.

A. Badarudin, Indarto, Deendarlianto, and A. Setyawan, "Characteristics of the air-water counter current two-phase flow in a 1/30 scale of pressurized water reactor (PWR): Interfacial behavior and CCFL data," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1737, 2016, doi: 10.1063/1.4949303.

A. Badarudin et al., "The effect of horizontal pipe length to the onset of flooding position on the air-water counter current two-phase flow in a 1/30 scale of pressurized water reactor (PWR)," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2001, no. June 2020, 2018, doi: 10.1063/1.5049983.

A. Badarudin, A. Setyawan, O. Dinaryanto, A. Widyatama, Indarto, and Deendarlianto, "Interfacial behavior of the air-water counter-current two-phase flow in a 1/30 scale-down of pressurized water reactor (PWR) hot leg," *Ann. Nucl. Energy*, vol. 116, pp. 376–387, 2018, doi: 10.1016/j.anucene.2018.03.007.

Y. V. Yoanita, S. Tirtha, E. Kumolosari, and B. G. Purnomo, "Fenomena aliran udara-air berlawanan arah pada pipa horisontal pada  $L/D = 25$  dan  $L/D = 50$ ," *J. Automot. Technol. Vocat. Educ.*, vol. 1, no. 1, pp. 21–32, 2020, doi: 10.31316/jatve.v1i1.670.

S. Wijayanta, Deendarlianto, Indarto, A. Prasetyo, and A. Z. Hudaya, "International Journal of Multiphase Flow The effect of the liquid physical properties on the wave frequency and wave velocity of co-current gas-liquid stratified two-phase flow in a horizontal pipe," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 158, no. 2, p. 104300, 2023, doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2022.104300.

A. H. Astyanto, A. N. A. Nugroho, Indarto, I. Gusti Ngurah Bagus Catrawedarma, D. Lucas, and Deendarlianto, "Statistical characterization of the interfacial behavior captured by a novel image processing algorithm during the gas/liquid counter-current two-phase flow in a 1/3 scaled down of PWR hot leg," *Nucl. Eng. Des.*, vol. 404, no. 2, p. 112179, 2023, doi: 10.1016/j.nucengdes.2023.112179.

A. H. Astyanto, Indarto, and Deendarlianto, "A Brief on Optical-based Investigation towards The Interfacial Behaviors during High Viscous Liquid / Gas Countercurrent Two-Phase Flow in a Complex Conduit Representing 1 / 30 Down- Scaled of PWR Hot Leg Geometry," *Int. J. Appl. Sci. Smart Technol.*, p. 30.

J. E. Koskie, I. Mudawar, and W. G. Tiederman, "Parallel-wire probes for measurement of thick liquid films," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 15, no. 4, pp. 521–530, 1989, doi: 10.1016/0301-9322(89)90051-7.

I. Kinoshita, T. Nriai, A. Tomiyama, D. Lucas, and M. Murase, "Effects of Liquid Properties on CCFL in a Scaled-Down Model of a PWR Hot Leg," *J. Power Energy Syst.*, vol. 5, no. 3, pp. 316–329, 2011, doi: 10.1299/jpes.5.316.

R. L. P. Rodrigues, C. Cozin, B. P. Naidek, M. a. Marcelino Neto, M. J. da Silva, and R. E. M. Morales, "Statistical features of the flow evolution in horizontal liquid-gas slug flow," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 119, no. May, 2020, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2020.110203.

A. Ikhsan, A. H. Astyanto, Indarto, and Deendarlianto, "Kajian Eksperimental Karakteristik Perilaku Hot Leg Pwr Menggunakan Sensor Kawat Sejajar Experimental Study of Behavioral Characteristics of Counterflow Interface in Geometry 1 : 30 Hot Leg," *Semin. Nas. Multidisiplin Ilmu Univ. Respati Yogyakarta*, vol. 3, no. 1, pp. 141–149, 2021.

A. H. Astyanto, J. A. E. Pramono, I. G. N. B. Catrawedarma, Deendarlianto, and Indarto, "Statistical characterization of liquid film fluctuations during gas-liquid two-phase counter-current flow in a 1/30 scaled-down test facility of a pressurized water reactor (PWR) hot leg," *Ann. Nucl. Energy*, vol. 172, p. 109065, 2022, doi: 10.1016/j.anucene.2022.109065.

H. Canière et al., "Horizontal two-phase flow characterization for small diameter tubes with a capacitance sensor," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 18, no. 9, pp. 2898–2906, 2007, doi: 10.1088/0957-0233/18/9/020.

E. dos Reis and L. J. Goldstein, "Characterization of slug flows in horizontal piping by signal analysis from a capacitive probe," *Flow Meas. Instrum.*, vol. 21, no. 3, pp. 347–355, 2010, doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2010.04.006.

A. Z. Hudaya, A. Widyatama, O. Dinaryanto, W. E. Juwana, Indarto, and Deendarlianto, "The liquid wave characteristics during the transportation of air-water stratified co-current two-phase flow in a horizontal pipe," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 103, no. January, pp. 304–317, 2019, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2019.01.021.

S. Wijayanta, Indarto, Deendarlianto, I. G. N. B. Catrawedarma, and A. Z. Hudaya, "Statistical characterization of the interfacial behavior of the sub-regimes in gas-liquid stratified two-phase flow in a horizontal pipe," *Flow Meas. Instrum.*, vol. 83, no. 2, p. 102107, 2022, doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2021.102107.

I. G. N. B. Catrawedarma, Deendarlianto, and Indarto, "Statistical Characterization of Flow Structure of Air–water Two-phase Flow in Airlift Pump–Bubble Generator System," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 138, p. 103596, 2021, doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2021.103596.

I. G. N. B. Catrawedarma, F. A. Resnaraditya, Deendarlianto, and Indarto, "Statistical characterization of the flow Structure of air–water–solid particles three-phase flow in the airlift pump–bubble generator system," *Flow Meas. Instrum.*, vol. 82, no. 2018, p. 102062, 2021.

A. H. Astyanto, Y. Rahman, A. Y. Adhikara, Indarto, and Deendarlianto, "Time-series differential pressure fluctuations of a flooding regime : A preliminary experimental results investigation on a 1 / 30 down- scaled PWR hot leg geometry," *AIP Conf. Proc.*, vol. 060001, no. 2011, 2021.

A. H. Astyanto, Y. Rahman, A. Y. A. Medha, Deendarlianto, and Indarto, "Pengaruh Rasio I/D terhadap Permulaan Flooding dan Fluktuasi Voltase Sinyal Tekanan Rezim Flooding pada Geometri Kompleks," *Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. August, pp. 447–457, 2021, doi: <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2021.012.02.21>.

A. H. Astyanto, "Pengaruh Sifat Fisis Cairan terhadap Karakteristik Flooding pada Geometri 1/30 Hot Leg PWR," Universitas Gadjah Mada, 2023.

A. H. Astyanto, Indarto, K. V. Kirkland, and Deendarlianto, "An experimental study on the effect of liquid properties on the counter-current flow limitation ( CCFL ) during gas / liquid counter-current two-phase flow in a 1 / 30 scaled-down of Pressurized Water Reactor ( PWR ) hot leg geometry," *Nucl. Eng. Des.*, vol. 399, no. 2, p. 112052, 2022, doi: 10.1016/j.nucengdes.2022.112052.

A. K. Jana, G. Das, and P. K. Das, "Flow regime identification of two-phase liquid-liquid upflow through vertical pipe," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 61, no. 5, pp. 1500–1515, 2006, doi: 10.1016/j.ces.2005.09.001.

S. Ghosh, D. K. Pratihar, B. Maiti, and P. K. Das, "Identification of flow regimes using conductivity probe signals and neural networks for counter-current gas-liquid two-phase flow," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 84, pp. 417–436, 2012, doi: 10.1016/j.ces.2012.08.042.

S. Ghosh, D. K. Pratihar, B. Maiti, and P. K. Das, "Automatic classification of vertical counter-current two-phase flow by capturing hydrodynamic characteristics through objective descriptions," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 52, pp. 102–120, 2013, doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2012.12.007.

K. Samal and S. Ghosh, "Kerosene-water counter-current two-phase flow-structures varying flow-orientation in 15 mm diameter duct," *Flow Meas. Instrum.*, vol. 81, no. July, p. 102016, 2021, doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2021.102016.

F. Johnsson, R. C. Zijerveld, J. C. Schouten, C. M. Van Den Bleek, and B. Leckner, "Characterization of fluidization regimes by time-series analysis of pressure fluctuations," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 26, no. 4, pp. 663–715, 2000, doi: 10.1016/S0301-9322(99)00028-2.

---

 PDF

---

Published  
2024-08-15

---

#### How to Cite

Astyanto, A. H., Rasyidi, M. M., Nugroho, A. N. A., Ikhsan, A., & Saleh, D. R. (2024). IMPLEMENTASI STOKASTIK PADA INVESTIGASI PENGARUH I/D TERHADAP PERILAKU ANTARMUKA ALIRAN BERLAWANAN ARAH DI GEOMETRI 1/30 HOT LEG PWR MENGGUNAKAN SENSOR KONDUKTANSI. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(2), 757–769. <https://doi.org/10.21776/jrm.v15i2.1531>

More Citation Formats 

---

#### Issue

[Vol. 15 No. 2 \(2024\)](#)

#### Section

Articles

---

#### License

Copyright (c) 2024 Achilleus Hermawan Astyanto, Muchsin Muzafar Rasyidi, Akhlisa Nadiantya Aji Nugroho, Alfikri Ikhsan, Dede Rafico Saleh



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

# IMPLEMENTASI STOKASTIK PADA INVESTIGASI PENGARUH I/D TERHADAP PERILAKU ANTARLUKA ALIRAN BERLAWANAN ARAH DI GEOMETRI 1/30 *HOT LEG* PWR MENGGUNAKAN SENSOR KONDUKTANSI

Achilleus Hermawan Astyanto <sup>1)</sup> ✉, Muchsin Muzafar Rasyidi <sup>2)</sup>, Akhlisa Nadiantya Aji Nugroho <sup>2)</sup>, Alfikri Ikhsan <sup>2)</sup>, Dede Rafico Saleh <sup>2)</sup>, I Gusti Ngurah Bagus Catrawedarma <sup>3)</sup>, Deendarlianto <sup>2)</sup>, Indarto <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Sanata Dharma  
Kampus III USD Maguwoharjo,  
Yogyakarta, 55282  
[achil.herma@usd.ac.id](mailto:achil.herma@usd.ac.id)

<sup>2)</sup>Departemen Teknik Mesin dan Industri  
Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM,  
Yogyakarta, 55281  
muchsinmuzafar2017@mail.ugm.ac.id  
akhlisa.nadiantya.a@mail.ugm.ac.id  
alfikri.ikhsan@mail.ugm.ac.id  
[dede.rafico.s@mail.ugm.ac.id](mailto:dede.rafico.s@mail.ugm.ac.id)  
deendarlianto@ugm.ac.id  
indarto@ugm.ac.id

<sup>3)</sup>Program Studi Teknik Mesin  
Politeknik Negeri Banyuwangi  
Jl. Raya Jember km. 13, Lebanasem,  
Banyuwangi, Jawa Timur, 68461  
ignb.catrawedarma@poliwangi.ac.id

## Abstract

*A small leakage in the primary circuit of a nuclear power plant reactor may trigger the counter-current flow which probably develops into a flooding regime followed by zero penetration and results on a core cooling failure. During extensive studies on the flooding phenomena in the pressurized water reactor (PWR) hot leg, the geometry effects have been widely investigated. The present study investigates the effects of riser length to diameter ratio (I/D) on interfacial fluctuations during the counter-current flow on a small scale of a PWR typical hot leg geometry. Here, the liquid film fluctuations were acquired by using parallel wire array probes. Three I/D ratios were assessed. They comprised 1.9 (R1), 3.9 (R2), and 8.3 (R3). The obtained data were analyzed on both time and frequency domains. From the PDF the flooding regime obtains multimodal distributions, while the PSD approaches lower frequencies with higher magnitudes corresponding to water blockages.*

**Keywords:** *I/D, Water Level Fluctuation, Counter-Current Flow, PWR Hot Leg, Parallel Wire Array Probe, Stochastic Analysis.*

## 1. PENDAHULUAN

Identifikasi perilaku antarmuka maupun morfologi dalam aliran dua-fase dipelajari secara masif, tidak terkecuali pada aliran udara-air berlawanan arah. Metode yang digunakan dapat berbasis pada observasi visual citra hasil teknik fotografi <sup>[1-13]</sup>, maupun pengukuran fisis berbasis instrumentasi elektronik yang dikolaborasikan dengan teknik pemrosesan sinyal. Dengan mengaplikasikan konsep konduktansi ataupun kapasitansi, sinyal struktur aliran dapat diperoleh dari pengukuran fisis baik dalam parameter fluktuasi tekanan maupun fraksi hampa. Selanjutnya dengan menggunakan pendekatan statistik, besaran sinyal tersebut dapat dikuantitatifkan untuk memperoleh karakteristik aliran.

Investigasi perilaku antarmuka aliran dua-fase berbasis konsep konduktansi pertama kali diajukan untuk mengukur tebal film cairan dengan menggunakan dua kawat yang diposisikan sejajar dan tegak lurus terhadap arah aliran <sup>[14]</sup>. Di sini, fluktuasi sinyal tampak berkorespondensi dengan harga bilangan Reynolds aliran. Konsep ini kemudian juga

Corresponding Author:

✉ Achilleus Hermawan Astyanto

Received on: 2023-05-15

Revised on: 2023-08-21

Accepted on: 2023-09-26

diaplikasikan dalam pengukuran tebal film cairan dengan menggunakan kawat sejajar berbahan platinum pada saluran yang merepresentasikan 1/15 geometri *hot leg* reaktor air bertekanan (*pressurized water reactor/PWR*)<sup>[15]</sup>. Lebih lanjut, konsep konduktansi ini juga berhasil dimanfaatkan untuk mengukur fluktuasi fraksi hampa untuk menginvestigasi perilaku aliran *slug* di pipa vertikal berdiameter 25 mm<sup>[16]</sup> maupun pipa mendarat berdiameter 26 mm<sup>[17]</sup>, serta identifikasi perilaku antarmuka pada aliran berlawanan arah di geometri yang merepresentasikan 1/30 *hot leg PWR*<sup>[18][19]</sup>. Melalui identifikasi karakteristik berbasis fungsi kerapatan probabilitas (*probability density function/PDF*) tampak perilaku sinyal berkorespondensi dengan karakteristik masing-masing rezim aliran.

Sementara itu, kajian perilaku antarmuka aliran berbasis prinsip kapasitansi berhasil diaplikasikan dalam identifikasi rezim aliran dua-fase dengan menginvestigasi karakteristik kerapatan spektrum daya (*power spectral density/PSD*) dari sinyal fraksi hampa<sup>[20]</sup>. Lebih lanjut, identifikasi karakteristik *slug* pada saluran mendarat juga telah dilaporkan berbasis prinsip ini<sup>[21]</sup>. Hasil-hasilnya memperlihatkan bahwa melalui analisis domain frekuensi, keberadaan gelombang, serta loncatan hidrolis dapat dideteksi dengan memperhatikan wilayah-wilayah dari konsentrasi sinyal.

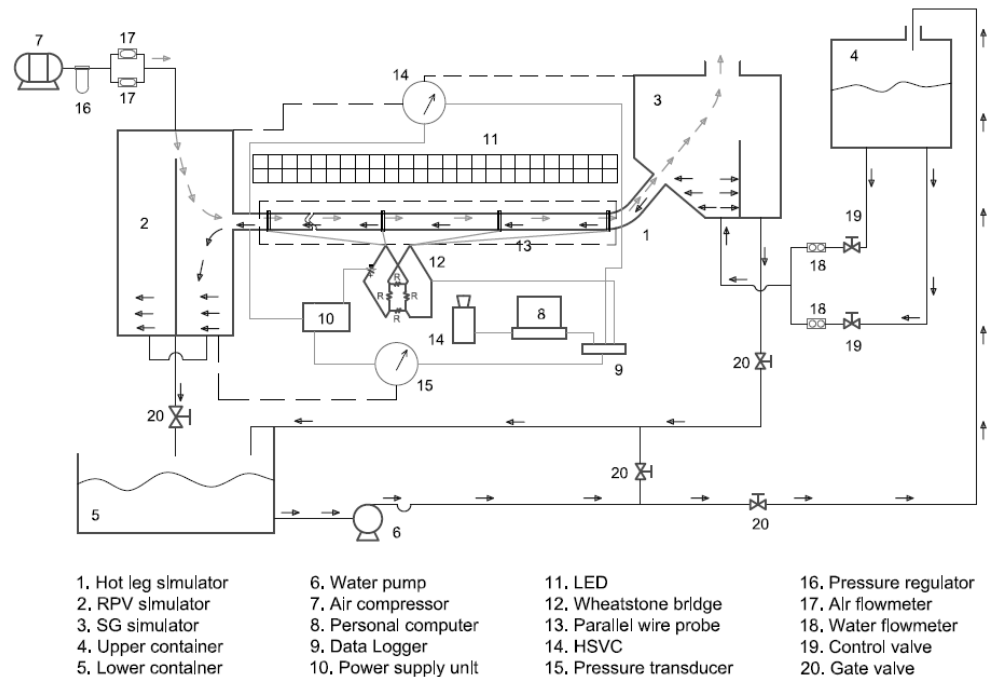
Selain mendasarkan pada karakteristik fraksi hampa, identifikasi perilaku antarmuka aliran dua-fase juga dilakukan berbasis pada fluktuasi tekanan yang diperoleh. Dalam hal ini, karakteristik gelombang antarmuka dapat diinvestigasi melalui analisis frekuensi gelombang yang diekstraksi dari PSD sinyal fluktuasi tekanan di pipa mendarat<sup>[22]</sup>, maupun di sistem *airlift pump*<sup>[23][24]</sup>. Di sini, karakteristik sinyal yang diekstrak melalui transformasi *Fourier* cepat (*fast fourier transform/FFT*) dapat memperlihatkan struktur masing-masing rezim aliran. Terbaru, dalam investigasi karakteristik rezim aliran pada aliran berlawanan arah, pengaruh parameter aliran yang meliputi debit air dan udara terhadap fluktuasi tekanan juga dilaporkan<sup>[25]</sup>. Lebih lanjut, pengaruh rasio panjang pipa miring terhadap diameter (*riser length to diameter ratio; I/D*) terhadap analisis domain waktu pada karakteristik fluktuasi tekanan menunjukkan harga *pressure drop* yang cenderung meningkat seiring peningkatan panjang *riser*<sup>[26]</sup>. Namun demikian, di penelitian tersebut harga *I/D* yang digunakan belum memperlihatkan pengaruh signifikan terhadap fluktuasi tekanan untuk mendapatkan secara jelas karakteristik rezim *flooding*.

Dari survei literatur yang dilakukan terlihat bahwa identifikasi perilaku antarmuka aliran dua-fase berbasis konsep konduktansi berkorespondensi dengan sifat konduktif cairan<sup>[14-19]</sup>. Di sini, sensor yang berkontak fisik secara langsung dengan fluida kerja memiliki potensi menyajikan data fisis yang objektif. Bahkan, dalam analisis domain waktu, instrumentasi akusisi data sensor konduktansi memungkinkan laju akusisi sampel yang tinggi. Hal ini kemudian memberi peluang untuk mendapatkan ukuran data yang teliti. Namun demikian, untuk aliran berlawanan arah di geometri kompleks yang merepresentasikan 1/30 *hot leg PWR*, tidak banyak peneliti yang mengaplikasikannya, terutama dengan melakukan variasi pada *I/D*. Oleh karenanya, pada penelitian ini pengaruh *I/D* terhadap karakterisasi statistik fluktuasi tebal film cairan diinvestigasi. Keterbaruan penelitian ditekankan pada kombinasi analisis domain waktu dan frekuensi untuk mendapatkan perilaku antarmuka aliran didasarkan pada karakteristik fluktuasi tebal film cairan.

## 2. METODOLOGI

Dalam penelitian ini digunakan seksi uji berupa geometri 1/30 *hot leg PWR* tipe Konvoi-Jerman. Diameter internal seksi uji adalah 25,4 mm dengan panjang pipa mendarat 635 mm. Sementara itu *I/D* yang digunakan adalah 1,9 ( $R_1$ ); 3,9 ( $R_2$ ); serta 8,3 ( $R_3$ ). Dengan demikian panjang *riser* yang digunakan masing-masing adalah 50 mm, 100 mm dan 210 mm. Pipa mendarat dan pipa miring terkoneksi oleh belokan (*bend*) dengan sudut kemiringan 50°

terhadap arah mendatar serta radius kurva 67,5 mm. Instalasi seksi uji serta komponen-komponen pendukung utama dalam dalam penelitian ini diperlihatkan di Gambar 1.

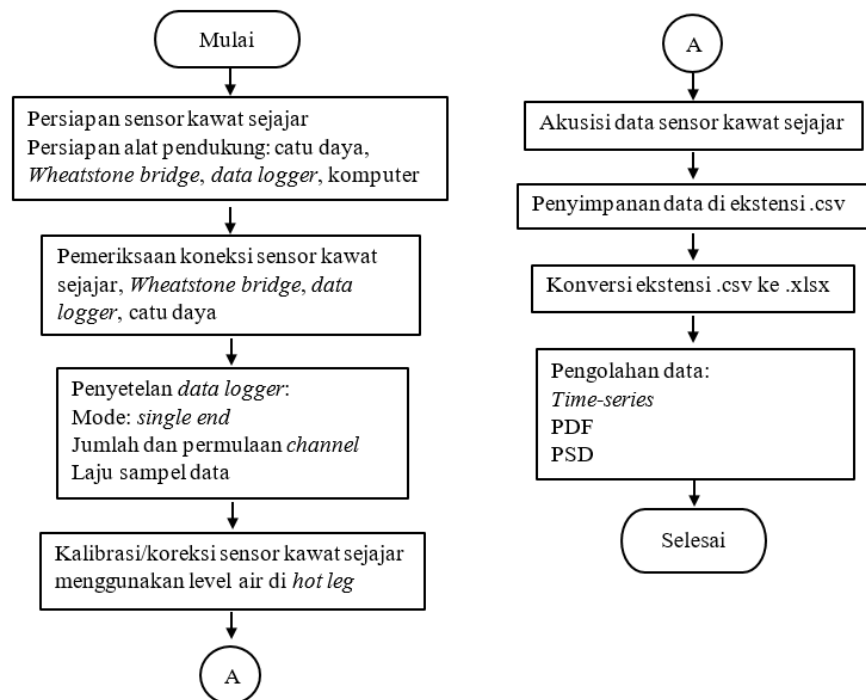


**Gambar 1. Skema aparatus penelitian**

Secara umum kajian ini merupakan bagian investigasi berkelanjutan mengenai karakteristik aliran berlawanan arah di geometri kompleks yang merepresentasikan model *hot leg* PWR dalam kerangka riset dasar dalam upaya promosi keamanan dan keselamatan manajemen operasional dalam kerangka mitigasi insiden kecelakaan pada pembangkit nuklir akibat kegagalan pendinginan inti reaktor [4-7,10,18,19,25-27]. Fasilitas riset yang dibangun merupakan simulator dari sirkuit primer PWR pada skala 1/30. Instalasi serta akuisisi data penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Fluida dan Perpindahan Kalor, Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada. Lebih lanjut, mekanisme kerja aparatus eksperimen telah dideskripsikan di laporan sebelumnya [26].

Gambar 2 menunjukkan diagram alir akuisisi data menggunakan sensor kawat sejajar. Untuk mendapatkan sinyal fluktuasi tebal film cairan, 10 pasang sensor kawat sejajar berbahan nikel berdiameter 0,5 mm dipasang pada bagian mendatar dari seksi uji dengan jarak aksial 20 mm. Sementara itu, pada simulator SG dan simulator RPV juga dipasang *pressure tap* yang dihubungkan dengan sensor tekanan berupa *differential pressure transducer* (DPT). Kedua sensor tekanan ini digunakan untuk mengidentifikasi tercapainya permulaan *water blockage* sebagai suatu transisi *separated flow* ke *intermittent flow*. Fenomena ini berkorespondensi dengan fluktuasi tekanan mendadak dengan amplitudo yang besar [1][3][4][6]. Lebih lanjut, sensor kawat sejajar dikoneksikan dengan modul jembatan Wheatstone untuk meningkatkan sensitifitas sensor. Teknik ini telah diaplikasikan secara luas sebelumnya [15][16][28][29][30]. Sensor-sensor kawat sejajar serta kedua sensor tekanan dihubungkan dengan catu daya 12 VDC. Seluruh sensor terkoneksi dengan sistem akuisisi data (DAQ) yang dilengkapi sistem konverter sinyal analog ke digital (ADC) yaitu *Advantech 4716AE*. Data yang diakuisisi disimpan dan ditabulasikan dalam *format comma-separated values* (.csv) di ruang penyimpanan data komputer.

Pada kenyataannya, ketika terjadi LOCA di sirkuit primer PWR, fluida yang berinteraksi adalah kondensat dalam fase cair dan uap panas (*steam*) pada fase gas. Namun demikian, dalam penelitian ini, fluida kerja yang digunakan adalah air distilasi sebagai fasa cair serta udara untuk fase gas. Meskipun terdapat perbedaan sifat fisis uap air dan udara, penskalaan ini relatif telah umum digunakan dan dilaporkan oleh para peneliti yang melakukan investigasi aliran berlawanan arah di geometri yang merepresentasikan *hot leg* PWR. Selanjutnya, sifat-sifat fisis air distilasi dan udara yang digunakan pada temperatur 30°C dan tekanan 1 atm diperlihatkan di Tabel 1. Ketika pengambilan data, rentang debit air yang digunakan adalah 6 – 42 *gallons per hour* (gph) atau setara 0,2 – 2.8 *liters per minute* (lpm). Harga ini mengacu pada beberapa penelitian terdahulu yang dilakukan pada tipe seksi uji serupa. Untuk setiap harga debit air, suplai udara diberi inkremen kenaikan sebesar 5 lpm hingga dicapai permulaan *flooding* dan empat kenaikan lanjutan paska permulaan *flooding* (*partial delivery region*).



**Gambar 2.** Diagram alir akuisisi data sinyal kawat sejajar.

Alat ukur debit air dan udara yang digunakan dalam penelitian ini adalah *flowmeter* udara dan *flowmeter* air, keduanya bertipe *floating* (rotameter). Sementara itu, untuk meyakinkan bahwa aliran yang terjadi telah stabil akibat perubahan debit udara, akuisisi setiap data dilakukan dalam durasi 20 detik di mana setiap kenaikan diberi jeda 7 detik untuk mengatur pada kenaikan harga selanjutnya. Data akuisisi dilakukan pada laju sampling 1000 sampel/detik. Dengan demikian dalam 20 detik akan peroleh 20000 harga tegangan yang berkorespondensi dengan fluktuasi tebal film cairan. Lebih lanjut, dalam pra-pemrosesan sinyal, frakuensi Nyquist dalam pengolahan data adalah 333 Hz atau 1/3 dari laju sampling. Tabel 2 memperlihatkan tipe dan spesifikasi instrumen ukur yang digunakan.



**Tabel 1.** Sifat fisis fluida yang dipergunakan dalam penelitian.

Properti fisis	Air distilasi	Udara
Massa jenis (kg/m <sup>3</sup> )	996	1,2
Tegangan permukaan (kg/s <sup>2</sup> )	71,97×10 <sup>-3</sup>	-
Viskositas dinamik (kg/m.s)	7,97×10 <sup>-4</sup>	1,87×10 <sup>-5</sup>

Investigasi terhadap data yang diakusisi dan ditabulasikan dilakukan melalui analisis berbasis domain waktu dan frekuensi. Suatu skrip kode program berbasis bahasa pemrograman MATLAB digunakan untuk mendapatkan grafik-grafik sekuensial waktu fluktuasi tebal film cairan, PDF dan PSD pada setiap lokasi sensor/lokus (x/Lh) dalam parameter aliran (debit air dan debit udara) serta variasi I/D pada suatu harga debit air dan udara tertentu. Analisis stokastik ini secara sukses telah difungsikan untuk mengkarakterisasikan perilaku antarmuka dalam identifikasi pola aliran berbasis pengaruh debit aliran di saluran vertikal <sup>[31]</sup>, juga di saluran horisontal <sup>[8][22]</sup>, serta di sistem *airlift pump* tipe pembangkit gelembung mikro <sup>[23][24]</sup>. Analisis ini memungkinkan transformasi sinyal acak ke dalam harga-harga kuantitatif dalam momen statistik meliputi simpangan baku (*standard deviasi/Sd*), kemenjuleran (*skewness/Sk*) dan keruncingan (kurtosis/Ku) kurva distribusi. Lebih lanjut, detail analisis berbasis domain waktu dan frekuensi yang digunakan dalam perhitungan telah dilaporkan sebelumnya <sup>[31]</sup>.

**Tabel 2.** Sifat fisis fluida yang dipergunakan dalam penelitian.

Instumentasi ukur	Tipe	Spesifikasi
Flowmeter udara	<i>Floating</i> , Dwyer RMA	0 – 70 lpm, galat error 4%
Flowmeter air	<i>Floating</i> , Dwyer RMB	0 – 20 gph, galat error 3%
Sensor tekanan	<i>Differential Pressure transducer</i> , Validyne P55D	Rentang ΔP 80 psi, galat error 0,25-0.5%
Data akusisi sistem	ADC DAQ, Advantech 4716AE	200 kS/s; 16-bit; 16 saluran

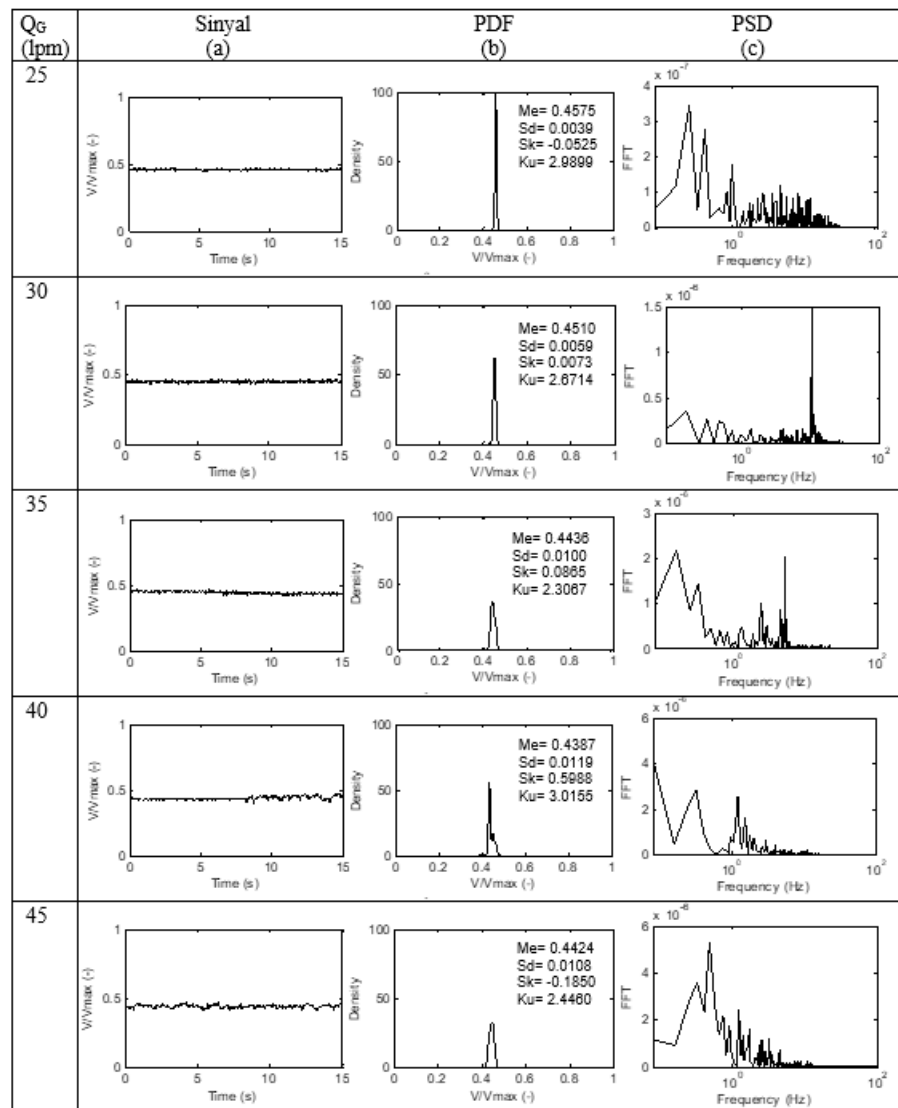
### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1. Karakteristik Fluktuasi Tebal Film Air Berbasis Debit Aliran

Tipikal karakterisasi statistik fluktuasi sinyal menggunakan fungsi kerapatan peluang (*probability density function*/PDF) dan fungsi kerapatan spektrum daya (*power spectral density*/PSD) pada kondisi  $Q_L = 24$  gph dengan variasi debit aliran udara diperlihatkan di Gambar 3. Dari gambar terungkap bahwa pada debit gas rendah dihasilkan magnitudo spektrum (FFT) yang relatif lebih kecil dalam kurva PSD. Di sini, magnitudo yang relatif kecil itu memberikan distribusi puncak yang tersebar di sekitar interval frekuensi tinggi, dan menunjukkan bahwa rezim aliran *stratified* teramati. Peningkatan lebih lanjut aliran udara berdampak pada penurunan frekuensi dominannya, di mana pengamatan visual mengungkapkan bahwa aliran yang terbentuk adalah *wavy*. Ketika inisiasi *water blockage* tercapai, magnitudo meningkat secara signifikan. Lebih lanjut, kombinasi karakteristik kurva PDF dan peningkatan magnitudo pada kurva PSD terjadi bersamaan ketika *slug* terbentuk. Investigasi lebih rinci dijelaskan sebagai berikut.

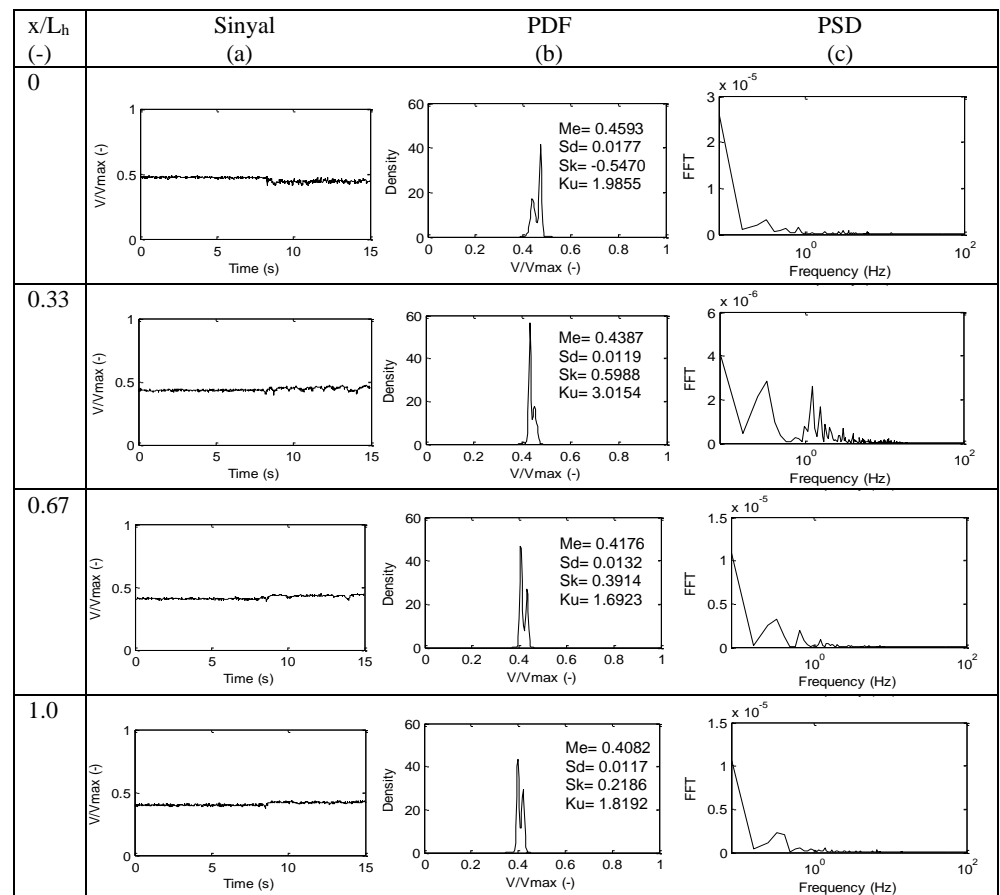
Ketika udara dialirkan bertahap sebesar 25 lpm hingga mencapai 35 lpm, sinyal fluktuasi tegangan normalisasi,  $V/V_{max}$ , juga meningkat landai seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3. Di sini, domain waktu dari sinyal mendekati-stabil yang diperoleh ditunjukkan pada kolom (a). Distribusi sinyal pada debit air ini cenderung menghasilkan kurva PDF berpuncak tunggal dengan simpangan baku rendah seperti ditunjukkan pada kolom (b). Jenis

sinyal ini sebelumnya telah dilaporkan tampak mendukung antarmuka yang stabil ke satu titik yang mengkonfirmasi kontinuitas cairan [30]. Selain itu, terlihat pergeseran titik frekuensi maksimum dalam kurva PSD ke magnitudo yang lebih rendah seperti yang ditunjukkan pada kolom (c). Lebih lanjut, dari Gambar 3(ii) dan (iii) terlihat bahwa magnitudo dari fluktuasi sinyal meningkat secara eksponensial ketika aliran udara meningkat dari 35 lpm menjadi 40 lpm. Di sini, domain waktu sinyal diperoleh sebagian berfluktuasi seperti yang ditunjukkan pada kolom (a) dan diikuti oleh pergeseran titik puncak ke frekuensi yang lebih tinggi seperti yang ditunjukkan pada kolom (c). Selanjutnya, pada Gambar 3(iii) dan (iv) amplitudo fluktuasi sinyal semakin meningkat seiring dengan peningkatan aliran gas dari 40 lpm menjadi 45 lpm. Di sini, domain waktu sinyal berfluktuasi seperti yang ditunjukkan pada kolom (a) diikuti dengan pergeseran titik puncak ke frekuensi yang lebih tinggi seperti yang diperlihatkan di kolom (c). Pergeseran lain dari kemenjuluran kurva negatif ke positif tampak berkorespondensi dengan perubahan landai pada antarmuka.



**Gambar 3.** Tipikal sinyal, PDF dan PSD pada  $QL= 24$  gph untuk berbagai debit udara menggunakan  $L/D= 3,9$  di  $x/L_h= 0,33$

Pada umumnya, sebelum terjadinya *water blockage*, grafik PDF memperlihatkan kurva berpuncak tunggal pada nilai tertentu dari sinyal. Hal ini menunjukkan bahwa aliran fluida cenderung tetap pada nilai tebal film cairan ataupun fraksi hampa tertentu. Perilaku kurva ini menunjukkan bahwa aliran *stratified* ataupun *small wave* terbentuk. Ketika inisiasi *water blockage* tercapai, grafik PDF memberikan kurva multi-puncak (multimodal) yang menunjukkan bahwa lebih dari satu nilai tebal film cairan muncul secara signifikan. Puncak di ujung bawah kurva sesuai dengan nilai tebal film yang lebih tinggi (*stratified*), sedangkan ujung yang lebih tinggi berkorespondensi dengan nilai tebal film lebih rendah yang menunjukkan *slug* air terbentuk [17].



**Gambar 4.** Tipikal sinyal, PDF dan PSD pada  $Q_L= 24$  gph,  $Q_G= 40$  lpm,  $I/D= 3,9$  di berbagai lokasi sensor

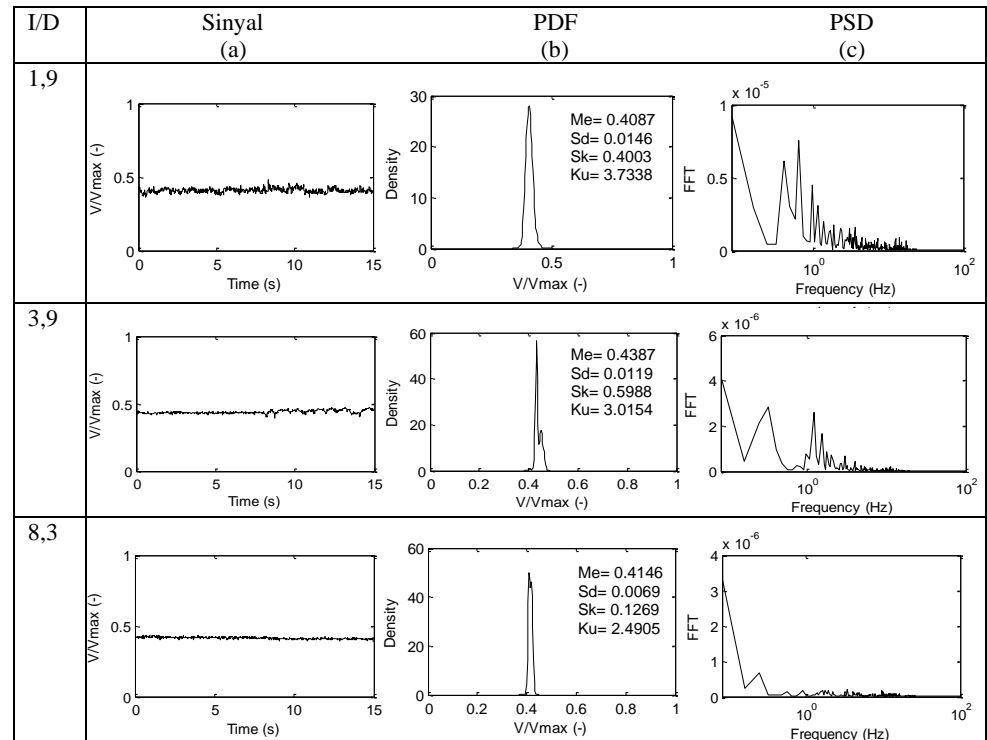
### 3.2. Pengaruh $I/D$ terhadap Fluktuasi Tebal Film Air

Tipikal karakterisasi statistik sinyal pada kondisi aliran  $Q_L= 24$  gph dan  $Q_G= 40$  lpm di  $x/L_h= 0,33$  diperlihatkan di Gambar 4. Dari gambar diperoleh bahwa rerata aritmatik (*mean/Me*) sinyal, menurun seiring posisi bergeser lebih dekat ke *water exit*. Di sini, domain waktu dari sinyal yang diperoleh memperlihatkan perubahan fluktuasi seperti yang ditunjukkan di kolom (a), yang tampak sebagai transisi dari aliran *wavy* ke *slug* melalui pengamatan visual. Selanjutnya, terlihat juga distribusi sinyal yang fluktuatif dengan beberapa puncak (multimodal) seperti yang digambarkan di kolom (b), juga tanpa pergeseran titik puncak ke frekuensi yang lebih rendah ataupun lebih tinggi seperti yang ditunjukkan di kolom (c).

Lebih lanjut, parameter aliran pada kondisi ini memberikan informasi transisi dari *separated regime (wavy)* ke *intermittent regime (partial delivery/flooded)* yang dibatasi oleh permulaan *flooding (water blockage)*. Di sini, pada lokasi sensor paling dekat *water exit*, tampak dari dua harga fraksi hampa yang mendominasi, densitas lebih rendah didapatkan dari rezim *stratified*, juga ditunjukkan dengan harga kemuajulan negatif. Hal ini berarti lokasi sensor ini masih didominasi oleh aliran *wavy*. Sementara itu, di ketiga lokasi sensor lainnya aliran *slug* lebih mendominasi.

### 3.3. Pengaruh I/D terhadap Fluktuasi Tebal Film Air

Gambar 5 memperlihatkan tipikal karakterisasi statistik perilaku antarmuka aliran pada  $Q_L=24$  gph untuk ketiga I/D yang digunakan. Dari gambar diperoleh bahwa fluktuasi sinyal menurun seiring dengan peningkatan I/D. Bahkan fluktuasi yang dapat diabaikan, ditandai dengan harga simpangan baku yang sangat rendah, terlihat pada penggunaan I/D= 8,3 seperti ditunjukkan di kolom (a) dan dipertegas di kolom (b). Observasi visual pada video rekaman menunjukkan rezim aliran berbeda dari ketiga I/D, meskipun diperoleh dari debit air dan udara yang sama. Penjelasan yang mungkin dari fenomena ini adalah peningkatan panjang riser pada kondisi aliran ini menyebabkan dibutuhkan lebih banyak massa udara untuk menginisiasi *water blockage* di pipa mendatar.

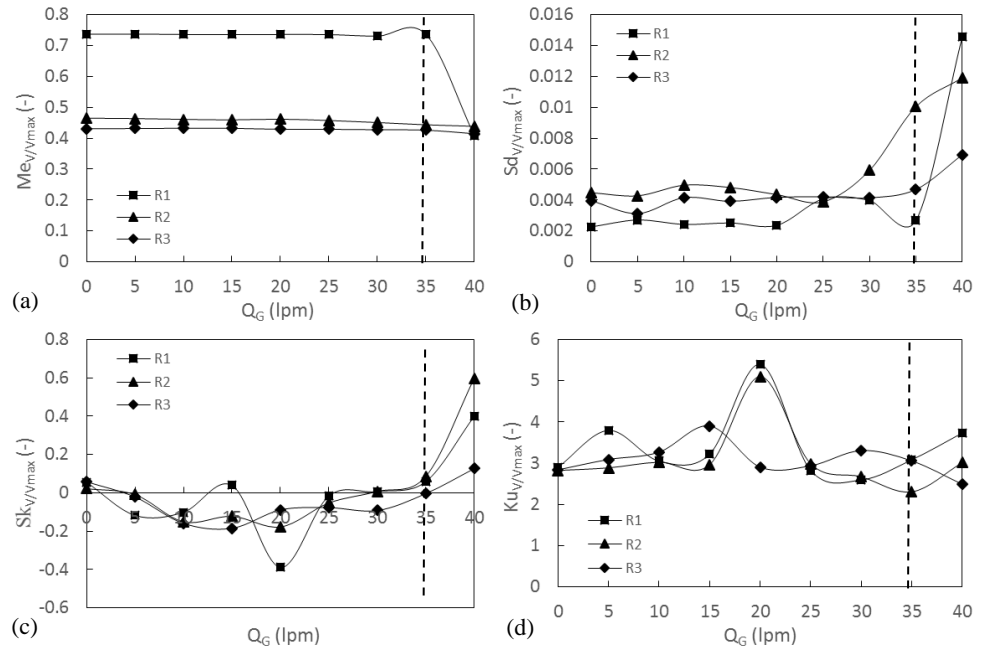


**Gambar 5:** Tipikal sinyal, PDF dan PSD pada  $Q_L=24$  gph dan  $Q_G=40$  lpm di  $x/L_h=0,33$  pada berbagai I/D

Karakteristik sinyal pada kolom (a) memperlihatkan bahwa pada parameter aliran ini, untuk I/D= 1,9 aliran telah masuk pada wilayah *partial delivery/flooding*. Di sini, sebagian air mengalir berlawanan arah dengan aliran udara, dan sebagian lainnya searah. Lebih lanjut, aliran *wavy* diikuti inisiasi *water blockage* dan *partial delivery* terlihat untuk I/D= 3,9. Dalam hal ini, puncak bimodal kurva PDF memperlihatkan bahwa ada dua harga *water level* yang dominan. Harga pertama berkorespondensi dengan aliran *wavy*, lainnya adalah harga rerata

di rezim *partial delivery*. Sementara itu, hanya aliran *wavy* teramati untuk  $I/D= 8,3$  pada parameter aliran ini.

Gambar 6 memperlihatkan pengaruh  $I/D$  terhadap karakterisasi statistik fluktuasi antarmuka pada  $Q_L= 24$  gph untuk berbagai debit udara di  $x/L_h= 0,33$ . Dari Gambar 6(a) terlihat bahwa harga sinyal memperlihatkan penurunan seiring peningkatan  $I/D$  pada semua debit gas sebelum tercapai permulaan *water blockage*. Artinya, seiring peningkatan  $I/D$ , tebal film cairan meningkat. Secara fisis hal ini dapat dipahami. *Riser* yang lebih panjang akan menempatkan kedudukan simulator SG semakin tinggi yang kemudian menuntun pada harga energi potensial semakin tinggi serta peningkatan waktu akselerasi aliran air dari *water inlet* ke pipa mendatar. Lebih lanjut, hal ini menyebabkan kecepatan air lebih tinggi di pipa mendatar seiring dengan peningkatan panjang *riser*. Pada saat bersamaan, peningkatan debit udara tidak menuntun pada kenaikan tebal film cairan sepanjang rezim *stratified*, kecuali setelah aliran mengalami transisi dari *separated* ke *intermittent* di lokasi pengukuran yang dipilih. Namun demikian, setelah mencapai *water blockage*, terlihat jelas terjadi perubahan signifikan tebal film air ketika menggunakan  $I/D= 1,9$ .



**Gambar 6:** Pengaruh  $I/D$  terhadap (a) rerata; (b) simpangan baku; (c) kemenculuran; dan (d) keruncingan distribusi data fluktuasi tebal fim cairan pada  $x/L_h= 0,33$  and  $Q_L= 24$  gph

Sementara itu, Gambar 6(b) menunjukkan bahwa pada debit gas rendah dimana rezim aliran yang teramati adalah *stratified*, fluktuasi sinyal yang diidentifikasi dari simpangan baku kurva cenderung rendah untuk semua harga  $I/D$ . Sesaat sebelum mencapai permulaan *water blockage*, terjadi peningkatan fluktuasi sinyal yang berkorespondensi dengan kemunculan gelombang. Ketika mencapai permulaan *water blockage*, fluktuasi sinyal meningkat tajam. Alasan yang masuk akal adalah di rezim aliran ini, *slug* air muncul bertubi-tubi dan pecah menjadi gulungan gelombang akibat aliran udara. Pada rezim aliran ini juga, pengaruh  $I/D$  terhadap perilaku antarmuka aliran tampak fluktuatif.

Gambar 6(c) memperlihatkan pengaruh  $I/D$  terhadap kemenculuran kurva distribusi dari data fluktuasi tebal film cairan pada kondisi aliran  $Q_L= 24$  gph untuk berbagai debit udara di  $x/L_h= 0,33$ . Di sini terlihat bahwa pada debit udara rendah hingga sesaat sebelum mencapai permulaan *water blockage*, kemenculuran kurva didominasi harga negatif. Hal ini

mengindikasikan distribusi tebal film rendah lebih mendominasi pada debit udara rendah. Di rezim *partial delivery*, ketiga  $I/D$  memberikan harga kemenjuluran positif yang berkorespondensi dengan *slug* air yang mendominasi. Lebih lanjut,  $I/D= 3,9$  serta  $8,3$  memberikan kecenderungan sama dengan harga yang nyaris berimpit untuk semua debit udara. Sementara itu, pengaruh  $I/D$  terhadap harga keruncingan kurva distribusi dari data fluktuasi tebal film cairan pada kondisi aliran  $Q_L= 24$  gph untuk berbagai debit udara di  $x/L_h= 0,33$  ditunjukkan di Gambar 6(d). Dari gambar teramati bahwa pada  $Q_G= 10$  lpm hingga  $30$  lpm,  $I/D= 1,9$  serta  $3,9$  memberikan kecenderungan sama dengan nilai yang berimpit.

#### 4. KESIMPULAN

Pengaruh  $I/D$  terhadap perilaku antarmuka aliran berlawanan arah pada geometri  $1/30$  *hot leg* PWR telah investigasi. Tiga  $I/D$  yang digunakan adalah  $1,9$ ;  $3,9$  dan  $8,3$ . Data fluktuasi yang diperoleh dikuantitatifkan dengan metode statistik berbasis analisis pada domain waktu dan frekuensi. Beberapa simpulan umum yang dicapai adalah:

1. Peningkatan  $I/D$  menyebabkan tebal film cairan cenderung meningkat untuk harga debit air dan udara yang sama sebelum permulaan flooding tercapai.
2. Analisis berbasis domain waktu maupun frekuensi yang digunakan dalam penelitian ini belum mengungkapkan secara signifikan pengaruh  $I/D$  terhadap perilaku antarmuka aliran. Tanpa klasterisasi sinyal dengan band frekuensi yang lebih spesifik fenomena detail seperti dinamika pergerakan gelombang belum teramati.

Lebih lanjut, teknik analisis dalam penelitian ini dapat dikembangkan. Karakterisasi statistik yang lebih detail dan mampu mendekomposisi sinyal didasarkan band frekuensi membuka peluang diperolehnya karakteristik struktur antarmuka aliran dua-fase yang lebih spesifik seperti dinamika gelombang <sup>[16][23][24]</sup>.

#### PERNYATAAN TERIMA KASIH

Berkenaan dengan beberapa teknis eksperimentasi, penulis mengapresiasi dukungan dari Dr. Apip Badarudin, Dr. Drajat Indah Mawarni, Dr(cand). Untung Surya Dharma, Dr(cand). Haslinda Kusumaningsih, Ir. Yulia Venti Yoanita, M.Eng., Christina Deni Rumiarti, M.T.I., Arif Muhlisin, S.Pd.T., Yusuf Rahman, S.T., Akbar Yuga Adhikara Medha, S.T., Josi Aldo Emanuel Pramono, S.T., juga kepala laboratorium Mekanika Fluida dan Perpindahan Kalor, Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada. Atas dukungan pendanaan riset, peneliti juga berterima kasih kepada Yayasan Sanata Dharma.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Deendarlianto, A. Ousaka, A. Kariyasaki, and T. Fukano, "Investigation of liquid film behavior at the onset of flooding during adiabatic counter-current air-water two-phase flow in an inclined pipe," *Nucl. Eng. Des.*, vol. 235, no. 21, pp. 2281–2294, 2005, doi: 10.1016/j.nucengdes.2005.03.006.
- [2] Deendarlianto et al., "The effects of surface tension on flooding in counter-current two-phase flow in an inclined tube," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 34, no. 7, pp. 813–826, 2010, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2010.01.010.
- [3] Deendarlianto, C. Vallée, D. Lucas, M. Beyer, H. Pietruske, and H. Carl, "Erratum: Experimental study on the air/water counter-current flow limitation in a model of the hot leg of a pressurized water reactor (Nuclear Engineering and Design)," *Nucl. Eng. Des.*, vol. 241, no. 8, pp. 3359–3372, 2011, doi: 10.1016/j.nucengdes.2011.02.028.

- [4] A. Badarudin, Indarto, Deendarlianto, and A. Setyawan, "Characteristics of the air-water counter current two-phase flow in a 1/30 scale of pressurized water reactor (PWR): Interfacial behavior and CCFL data," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1737, 2016, doi: 10.1063/1.4949303.
- [5] A. Badarudin et al., "The effect of horizontal pipe length to the onset of flooding position on the air-water counter current two-phase flow in a 1/30 scale of pressurized water reactor (PWR)," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2001, no. June 2020, 2018, doi: 10.1063/1.5049983.
- [6] A. Badarudin, A. Setyawan, O. Dinaryanto, A. Widyatama, Indarto, and Deendarlianto, "Interfacial behavior of the air-water counter-current two-phase flow in a 1/30 scale-down of pressurized water reactor (PWR) hot leg," *Ann. Nucl. Energy*, vol. 116, pp. 376–387, 2018, doi: 10.1016/j.anucene.2018.03.007.
- [7] Y. V. Yoanita, S. Tirtha, E. Kumolosari, and B. G. Purnomo, "Fenomena aliran udara-air berlawanan arah pada pipa horisontal pada  $L/D = 25$  dan  $L/D = 50$ ," *J. Automot. Technol. Vocat. Educ.*, vol. 1, no. 1, pp. 21–32, 2020, doi: 10.31316/jatve.v1i1.670.
- [8] S. Wijayanta, Deendarlianto, Indarto, A. Prasetyo, and A. Z. Hudaya, "International Journal of Multiphase Flow The effect of the liquid physical properties on the wave frequency and wave velocity of co-current gas-liquid stratified two-phase flow in a horizontal pipe," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 158, no. 2, p. 104300, 2023, doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2022.104300.
- [9] A. H. Astyanto, A. N. A. Nugroho, Indarto, I. Gusti Ngurah Bagus Catrawedarma, D. Lucas, and Deendarlianto, "Statistical characterization of the interfacial behavior captured by a novel image processing algorithm during the gas/liquid counter-current two-phase flow in a 1/3 scaled down of PWR hot leg," *Nucl. Eng. Des.*, vol. 404, no. 2, p. 112179, 2023, doi: 10.1016/j.nucengdes.2023.112179.
- [10] A. H. Astyanto, Indarto, and Deendarlianto, "A Brief on Optical-based Investigation towards The Interfacial Behaviors during High Viscous Liquid / Gas Countercurrent Two-Phase Flow in a Complex Conduit Representing 1 / 30 Down- Scaled of PWR Hot Leg Geometry," *Int. J. Appl. Sci. Smart Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 101–112, 2023, doi: <https://doi.org/10.24071/ijasst.v5i1.6302>.
- [11] H. Kusumaningsih, M. R. A. Madani, M. F. Alfath, A. F. Ritonga, Deendarlianto, and Indarto, "Karakteristik pola aliran dua fase gas-cairan non-newtonian di dalam microchannels berpenampang persegi," *Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 3, pp. 443–450, 2022, doi: <https://doi.org/10.21776/jrm.v13i2.1293>.
- [12] D. I. Mawarni, Indarto, Deendarlianto, and W. Budhijanto, "Pengaruh jarak nosel udara dengan outlet terhadap distribusi bubble yang dihasilkan oleh MBG tipe swirl," *Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. May, pp. 361–371, 2022, doi: <https://doi.org/10.21776/jrm.v13i2.977>.
- [13] U. S. Dharma, C. A. Dwiputri, E. Nugroho, A. Asroni, D. Deendarlianto, and I. Indarto, "Analisa kecepatan slug aliran dua fase di downstream T-junction minichannel horizontal dengan radius belokan ( $r/dh$ ) 0.7," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 3, pp. 931–938, 2023, doi: 10.21776/jrm.v13i3.1432.
- [14] J. E. Koskie, I. Mudawar, and W. G. Tiederman, "Parallel-wire probes for measurement of thick liquid films," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 15, no. 4, pp. 521–530, 1989, doi: 10.1016/0301-9322(89)90051-7.
- [15] I. Kinoshita, T. Nriai, A. Tomiyama, D. Lucas, and M. Murase, "Effects of Liquid Properties on CCFL in a Scaled-Down Model of a PWR Hot Leg," *J. Power Energy Syst.*, vol. 5, no. 3, pp. 316–329, 2011, doi: 10.1299/jpes.5.316.

- [16] A. K. Jana, G. Das, and P. K. Das, "Flow regime identification of two-phase liquid-liquid upflow through vertical pipe," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 61, no. 5, pp. 1500–1515, 2006, doi: 10.1016/j.ces.2005.09.001.
- [17] R. L. P. Rodrigues, C. Cozin, B. P. Naidek, M. a. Marcelino Neto, M. J. da Silva, and R. E. M. Morales, "Statistical features of the flow evolution in horizontal liquid-gas slug flow," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 119, no. May, 2020, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2020.110203.
- [18] A. H. Astyanto, J. A. E. Pramono, I. G. N. B. Catrawedarma, Deendarlianto, and Indarto, "Statistical characterization of liquid film fluctuations during gas-liquid two-phase counter-current flow in a 1/30 scaled-down test facility of a pressurized water reactor (PWR) hot leg," *Ann. Nucl. Energy*, vol. 172, p. 109065, 2022, doi: 10.1016/j.anucene.2022.109065.
- [19] A. Ikhsan, A. H. Astyanto, Indarto, and Deendarlianto, "Kajian Eksperimental Karakteristik Perilaku Hot Leg Pwr Menggunakan Sensor Kawat Sejajar Experimental Study of Behavioral Characteristics of Counterflow Interface in Geometry 1 : 30 Hot Leg," *Semin. Nas. Multidisiplin Ilmu Univ. Respati Yogyakarta*, vol. 3, no. 1, pp. 141–149, 2021.
- [20] H. Canière et al., "Horizontal two-phase flow characterization for small diameter tubes with a capacitance sensor," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 18, no. 9, pp. 2898–2906, 2007, doi: 10.1088/0957-0233/18/9/020.
- [21] E. dos Reis and L. J. Goldstein, "Characterization of slug flows in horizontal piping by signal analysis from a capacitive probe," *Flow Meas. Instrum.*, vol. 21, no. 3, pp. 347–355, 2010, doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2010.04.006.
- [22] S. Wijayanta, Indarto, Deendarlianto, I. G. N. B. Catrawedarma, and A. Z. Hudaya, "Statistical characterization of the interfacial behavior of the sub-regimes in gas-liquid stratified two-phase flow in a horizontal pipe," *Flow Meas. Instrum.*, vol. 83, no. 2, p. 102107, 2022, doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2021.102107.
- [23] I. G. N. B. Catrawedarma, Deendarlianto, and Indarto, "Statistical Characterization of Flow Structure of Air–water Two-phase Flow in Airlift Pump–Bubble Generator System," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 138, p. 103596, 2021, doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2021.103596.
- [24] I. G. N. B. Catrawedarma, F. A. Resnaraditya, Deendarlianto, and Indarto, "Statistical characterization of the flow Structure of air–water–solid particles three-phase flow in the airlift pump–bubble generator system," *Flow Meas. Instrum.*, vol. 82, no. 2018, p. 102062, 2021.
- [25] A. H. Astyanto, Y. Rahman, A. Y. Adhikara, Indarto, and Deendarlianto, "Time-series differential pressure fluctuations of a flooding regime : A preliminary experimental results investigation on a 1 / 30 down- scaled PWR hot leg geometry," *AIP Conf. Proc.*, vol. 060001, no. 2011, 2021.
- [26] A. H. Astyanto, Y. Rahman, A. Y. A. Medha, Deendarlianto, and Indarto, "Pengaruh Rasio I/D terhadap Permulaan Flooding dan Fluktuasi Voltase Sinyal Tekanan Rezim Flooding pada Geometri Kompleks," *Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. August, pp. 447–457, 2021, doi: <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2021.012.02.21>.
- [27] A. H. Astyanto, Indarto, K. V. Kirkland, and Deendarlianto, "An experimental study on the effect of liquid properties on the counter-current flow limitation ( CCFL ) during gas / liquid counter-current two-phase flow in a 1 / 30 scaled-down of Pressurized Water Reactor ( PWR ) hot leg geometry," *Nucl. Eng. Des.*, vol. 399, no. 2, p. 112052, 2022, doi: 10.1016/j.nucengdes.2022.112052.



- [28] S. Ghosh, D. K. Pratihar, B. Maiti, and P. K. Das, "Identification of flow regimes using conductivity probe signals and neural networks for counter-current gas-liquid two-phase flow," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 84, pp. 417–436, 2012, doi: 10.1016/j.ces.2012.08.042.
- [29] S. Ghosh, D. K. Pratihar, B. Maiti, and P. K. Das, "Automatic classification of vertical counter-current two-phase flow by capturing hydrodynamic characteristics through objective descriptions," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 52, pp. 102–120, 2013, doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2012.12.007.
- [30] K. Samal and S. Ghosh, "Kerosene-water counter-current two-phase flow-structures varying flow-orientation in 15 mm diameter duct," *Flow Meas. Instrum.*, vol. 81, no. July, p. 102016, 2021, doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2021.102016.
- [31] F. Johnsson, R. C. Zijerveld, J. C. Schouten, C. M. Van Den Bleek, and B. Leckner, "Characterization of fluidization regimes by time-series analysis of pressure fluctuations," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 26, no. 4, pp. 663–715, 2000, doi: 10.1016/S0301-9322(99)00028-2.