

HIMATEM

# PROSIDING

## Edisi Revisi

### SEMINAR NASIONAL XII TAHUNAN TEKNIK MESIN XII

Tema :

*“Peran Riset Teknik Mesin  
Dalam Membangun Daya Saing dan  
Kemandirian Bangsa”*



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG**

Sponsored By:



## **KATA PENGANTAR**

Dengan memanjatkan doa syukur kepada Allah SWT, telah diterbitkan *Edisi Revisi* dari prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM XII). Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM XII) menyajikan makalah yang berkualitas yang berasal dari tulisan peneliti di bidang Teknik Mesin dari seluruh Indonesia. Makalah yang dipresentasikan dalam seminar ini meliputi lima konsentrasi Teknik Mesin yaitu konversi energi, material, mekanika terapan, produksi dan pendidikan teknik mesin.

Pada Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM XII) terdapat makalah tambahan berbahasa Inggris dari sesi Internasional yang pesertanya terdiri dari peserta Nasional dan dari Japan Society of Mechanical Engineering (JSME). Adanya sesi Internasional ini diharapkan akan menjadi sarana berbagi ilmu antara anggota Badan Kerjasama Teknik Mesin Indonesia (BKSTM) dengan JSME.

*Edisi Revisi* ini merupakan penyempurnaan dari edisi sebelumnya. Perubahan yang dilakukan diantaranya adalah memasukkan makalah baru yang belum sempat dimuat pada edisi sebelumnya, menyesuaikan kembali letak makalah berdasarkan bidang konsentrasinya, memperbaiki judul makalah serta melakukan perbaikan lainnya. Dengan demikian akan terjadi perubahan susunan dan penomoran halaman dari prosiding ini. *Edisi Revisi* diterbitkan bertujuan untuk mengakomodasi seluruh peserta yang telah mengirimkan makalahnya agar dapat mempergunakan prosiding ini sesuai dengan keperluannya.

Kami ingin mengucapkan terima kasih kepada semua penulis yang telah mengkontribusikan makalahnya dalam seminar ini. Terima kasih juga kepada para anggota komite yang telah mencurahkan segala waktu dan usaha sehingga terselenggaranya seminar dengan sukses. Lebih lanjut ucapan terima kasih atas dukungannya kepada civitas akademika Fakultas Teknik UNILA pada khususnya dan UNILA pada umumnya.

Kami juga berterima kasih atas dukungan dari sponsor yaitu PT. Sugar Group, Autodesk (Tekno+Logika), Esindo Karya Lestari, PT. Sahabat Motor, PT. Gunung Madu dan PT. Kawan Lama.

Diharapkan prosiding ini akan dapat memberikan manfaat bagi kalangan akademisi, industri, praktisi dan seluruh masyarakat. Untuk para penulis agar berkenan untuk terus mempublikasikan hasil penelitiannya pada seminar-seminar SNTTM yang akan datang.

Bandar Lampung, 14 Januari 2014

Koordinator Pelaksana Seminar SNTTM XII

Dr.Eng.Shirley Savetlana, S.T., M.Met

KODE	NAMA PEMAKALAH DAN JUDUL MAKALAH	HALAMAN
KE051	Perilaku Aliran Roda Air arus Bawah Plat Bengkok dengan Variasi Jumlah Sudu <i>Luther Sule</i>	329 - 334
KE052	Optimasi Laju Aliran Massa Udara Pada Kolektor Surya Plat Datar Bersirip Aliran Dua Pass M. Yahya dan Hendriwan Fahmi	335 - 339
KE053	Perancangan dan Pengujian Unjuk Kerja Pompa Hydran Dengan Katup Tekan Model Plat, Membran, Bola dan Setengah-Bola <i>Made Suarda, I Gusti Ketut Sukadana</i>	340 - 347
KE054	Simulasi CFD Pada Long Flexible Cylinder Yang Mengalami Vortex Induced Vibration <i>Maria Margareta Z. B., Rudi Walujo Prastianto, Handayanu, Murdjito</i>	348 - 354
KE055	Studi Eksperimental Penyimpanan Energi Termal Proses Charging pada Pemanas Air Tenaga Surya Thermosyphon Menggunakan Air dan Paraffin Wax sebagai Material Penyimpan Kalor <i>Muhammad Nadjib, Suhanan</i>	355 - 359
KE056	Studi Alat Destilasi Surya Untuk Mengolah Air Laut Menjadi Air Bersih dan Garam <i>Mulyanef, Burmawi dan Muslimin K.</i>	360 - 363
KE057	Pengaruh Perubahan Tekanan Tangki Tekan Terhadap Kinerja Pompa Sentrifugal <i>Nasaruddin Salam</i>	364 - 368
KE058	Temperatur Nyala Adiabatik pada Pembakaran Premixed LPG/CO <sub>2</sub> / udara dalam Hele Shaw Cell <i>Nasrul Ilminnafik</i>	369 - 373
KE059	Pelatihan Teknik Mengemudi Smart Driving untuk Menurunkan Emisi Gas Rumah Kaca dan Menekan Biaya Transportasi Angkutan Darat <i>Nazaruddin Sinaga</i>	374 - 381
KE060	Pengembangan Model Persamaan Konsumsi Bahan Bakar Efisien Untuk Mobil Penumpang Berbahan Bakar Bensin Sistem Injeksi Elektronik (EFI) <i>Nazaruddin Sinaga, S. J. Purnomo dan A. Dewangga</i>	382 - 386
KE061	Tingkat Produktifitas Biogas Dengan Bahan Baku Kotoran Sapi Dengan Variasi Bahan Tambah Ragi Dan Tetes Tebu <i>Novi Caroko</i>	387 - 390
KE062	Simulasi Numerik Arus Laut di Selat Bunaken Kota Manado Propinsi Sulawesi Utara <i>Parabelem T.D. Rompa dan Jenly D.I. Manongko</i>	391 - 397
KE063	Pengaruh Porositas dan Kecepatan Putar Membran Terhadap Kinerja Rotating Filter <i>Prajitno, Yoga Pratama, Taufiq</i>	398 - 401

KODE	NAMA PEMAKALAH DAN JUDUL MAKALAH	HALAMAN
KE064	Pengaruh Konveksi dan Radiasi Termal Terhadap Penurunan Temperatur Billet Baja Dalam Sistem Transportasi Billet Baja <i>Prayudi, Efy Yosrita</i>	402 - 408
KE065	Pengaruh Peletakan Static Radial Fin Mixer Terhadap Unjuk Kerja Heat Exchanger Tipe Counter Flow <i>Purnami</i>	409 - 413
KE066	Simulasi Numerik Perilaku Aliran dan Pemisahan Termal di dalam Tabung Vorteks <i>Radi Suradi K dan Sugianto</i>	414 - 418
KE067	Penggunaan Pipa Kalor Pipih sebagai Pendingin Sel Surya <i>Rahmat Subarkah, Tatun H Nufus, Muhammad, Rachman Kurniawan, Rizky Erfiansyah, Taufik Adriansyah</i>	419 - 425
KE068	Studi Pengaruh Luasan Total Lubang Katup <i>RB. Dwiseno Wihadi</i>	426 - 431
KE069	Kerugian Tekanan dan Model Matematika Aliran Lumpur dalam Pipa Bulat <i>Ridwan</i>	432 - 436
KE070	Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Bioetanol, Putaran Poros Dan Pemasangan Vacuum Tube Tipe 4y2 Terhadap Prestasi Pada Motor Bakar Bensin Empat Langkah Satu Selinder <i>Romy, Awaludin Martin, Agus Setiawan</i>	437 - 441
KE071	Perancangan Turbin Angin Darrieus Tipe H Berkapasitas 1.035 Watt Yang Akan Diaplikasikan Di Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Riau <i>Romy, Awaludin Martin, Irfandi Pratama, Ivand Hintingo, Hariyono</i>	442 - 446
KE072	Analisis Komputasi Pengaruh Kontrol Aktif Suction pada Hambatan Aerodinamika Model Kendaraan <i>Rustan Tarakka, Harinaldi, Budiarmo, Nasaruddin Salam, Baharuddin Mire</i>	447 - 452
KE073	Pengaruh Variasi Diameter Dan Tinggi Tabung Udara Terhadap Unjuk Kerja Pompa Hidram <i>Sehat Abdi Saragih</i>	453 - 457
KE074	Profil Temperatur Terhadap Posisi Circumferential Pipa pada Proses Kondensasi Uap di dalam Pipa Horizontal <i>Sukamta, Indarto, Purnomo, Tri Agung Rohmat</i>	458 - 462
KE075	Pengaruh Viskositas Larutan Gelatin Terhadap Kemampuan Alir Pada Head Printer <i>Sunyoto, Alva Edy Tontowi, Widowati Siswomihardjo, Rochmadi</i>	463 - 466
KE076	Pengujian Performansi Sepeda Motor Yamaha V-Ixion Dengan Modifikasi Penambahan Air Injection <i>Syahbardia</i>	467 - 471

KODE	NAMA PEMAKALAH DAN JUDUL MAKALAH	HALAMAN
KE077	Konversi Sampah Kota Menjadi Bahan Bakar Padat: Modifikasi Sistem Torefaksi Kontinu Unggun Terfluidisasi untuk Mengakomodasi Karakteristik Sampah <i>Toto Hardianto, Aryadi Suwono, Ari Darmawan Pasek, Amrul</i>	472 - 479
KE078	Analisa Perhitungan Nilai Optimum Kalor Dari Pengujian Pengeringan Bahan Bakar Padat <i>Terang Ukur HSGM, Budhi Santri Kusuma</i>	480 - 482
KE079	Minimalisasi Beban Parasitik pada Sistem Pendingin Utama Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi <i>Yoga Putra Andrian, I Made Astina</i>	483 - 488
KE080	Prediksi Penurunan Daya Pompa Akibat Penambahan Bahan Berubah Fasa Pada Refrigeran Sekunder Sistem Pengondisian Udara Jenis Chilled Water <i>Muhammad Irsyad, Aryadi Suwono, Yuli S. Indartono</i>	489 - 493
KE081	Analisis Rugi Energi Tekanan Pada Pemisahan Aliran Terhadap Variasi Sudut Sambungan Y <i>Syamsul Arifin, Rustan Tarakka dan Mahbub Arfah</i>	494 - 499
KE082	Electrospun AZO Electrodes and Solid-Stat Electrolyte for Dye-Sensitized Solar Cell <i>Zainal Arifin, Suyitno, M. Anwar Ahmadi Omid, Agus Supriyanto, Lukman Nulhakim</i>	500 - 505
KE083	The Effect of Bubbling Generation Methods on the Performance of Microbubble Generator Pressurized Type <i>Anggita Gigih W.I, Pandu Fadlurohman, Deendarlianto, Adhika W</i>	506 - 512
KE084	The Implementation of Image Processing Technique to Determine the Interfacial Behavior of Gas-Liquid Wavy Two-Phase Flow In A Horizontal Pipe <i>Hadiyan Y. Kuntoro, Akhmad Z. Hudaya, Okto Dinaryanto, Deendarlianto, Indarto</i>	513 - 521
KE085	Studi Eksperimen Aliran Turbulen didalam Difuser Simetris 3D Berdinding Datar dengan Penambahan Splitter <i>Sutardi, Harbangan D</i>	522 - 527
KE086	Analisa Pengaruh Penggunaan Brown Gas Terhadap Prestasi Mesin <i>Harmen, Egi Naratama, Jasiron dan Riyan Arizona</i>	528 - 536
KE087	Analisis Efek Beban Thermal pada Perancangan Pressure Vessel untuk Pengolahan Limbah Kelapa Sawit dengan Kapasitas 10.000 Ton/Bulan <i>A. Yudi Eka Risano</i>	537 - 543
KE088	Pemanfaatan Filter Udara Eksternal Dari Zeolit Pelet Lampung Teraktivasi Naoh-Fisik Untuk Mereduksi Konsumsi Bensin Dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor Bensin 4-Langkah <i>Herry Wardono, Prima Kumbara</i>	544 - 547
KE089	FMEA of the PLTA Mrica <i>Greg. Harjanto, Viktor Malau</i>	548 - 557

## Profil Temperatur Terhadap Posisi *Circumferential* Pipa pada Proses Kondensasi Uap di dalam Pipa Horizontal

Sukamta<sup>1</sup>, Indarto<sup>2</sup>, Purnomo<sup>2</sup>, Tri Agung Rohmat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Jl. Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, Indonesia, kode pos 55183, Tel/HP: 08157998996

<sup>2</sup>Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Gadjah Mada University  
Jl. Grafika no. 2 Yogyakarta, kodepos 55581, Indonesia  
Email : msukamta@gmail.com, sukamta@umy.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menjelaskan secara kuantitatif terjadinya pola aliran *slug* yang didefinisikan sebagai inisiasi *waterhammer*. Analisa dilakukan berdasarkan data profil temperatur pada *circumferential* pipa. Data tersebut diperoleh melalui eksperimen kondensasi uap di dalam pipa horizontal dengan pendinginan dari luar pipa, di mana uap mengalir pada pipa kondensor (pipa bagian dalam dari pipa *annulus*) kemudian didinginkan dengan air pendingin yang mengalir pada pipa *annulus* bagian luar. Dipilihnya cara ini agar penelitian ini semakin mendekati pada kasus nyata yang dapat terjadi di *hotleg pipe* dari sebuah *Pressurized Water Reactor* (PWR), dan mengingat kondensasi merupakan proses fisis yang begitu lengkap yang melibatkan fenomena perpindahan kalor dan perpindahan massa secara simultan sehingga banyak faktor mempengaruhinya, misalnya sifat fisis dan kimia uap, sifat embun, dan geometri alat. Untuk memudahkan permasalahan secara teknis maka pendinginan dilakukan dari luar pipa kondensor.

Alat pengambilan data terdiri atas pipa anulus bagian dalam dengan bahan tembaga ( $d_{in} = 17.2$  mm,  $d_o = 19$  mm) dengan panjang 1,8 m, sedangkan pipa anulus bagian luar adalah *Galvanized Iron Pipe* ( $d_{in} = 108.3$  mm,  $d_o = 114.3$  mm) dengan panjang 1,6 m. Termokopel tipe 36 TT OMEGA dengan material *chromel* (+) and *alumel* (-) digunakan untuk mendeteksi penyebaran temperatur yang terjadi di sepanjang pipa ( $L=1,6$  m). Peralatan akuisisi data seri RX 40 (OMRON, 20 Channels) digunakan untuk merekam data temperatur dengan *sampling rate* 5 Hz.

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa temperatur tertinggi berada pada posisi  $0^\circ$  (atas), kemudian disusul posisi  $90^\circ$  (samping) dan  $180^\circ$  (bawah), hal ini menunjukkan bahwa uap lebih banyak bersentuhan dengan dinding pipa bagian atas yang kemudian terkondensasi dan jatuh atau mengalir melalui dinding bagian samping sebelum akhirnya jatuh ke bagian bawah. Dengan demikian temperatur terendah berada pada bagian bawah yang sekaligus menunjukkan terjadinya penumpukan kondensat, sehingga tebal atau tipisnya lapisan kondensat ditunjukkan oleh tinggi rendahnya temperatur kondensat bagian bawah. Tebal atau tipisnya kondensat inilah yang berpengaruh terjadinya pola aliran *slug* yang mampu menginisiasi terjadinya *water hammer*

**Keywords:** profil temperatur, slug, waterhammer, kondensasi uap, *circumferent*

### Pendahuluan

Kondensasi merupakan proses fisis yang cukup menarik untuk dikaji, karena masalahnya yang begitu kompleks dan aplikasinya yang luas. Proses ini melibatkan perpindahan kalor dan massa secara simultan. Banyak faktor mempengaruhi koefisien perpindahan kalor selama proses kondensasi, seperti sifat fisis dan kimia uap, sifat embun, dan geometri saluran. Permukaan pengkondensi mungkin terbasahi seluruhnya oleh *condensate* (embun), ketika terjadi kondensasi lapisan (*film condensation*) atau tidak terbasahi sempurna manakala hanya terjadi kondensasi

butiran cairan (*dropwise condensation*). Embun dan uap dapat mengalir secara laminar atau turbulen. Uap mungkin terdiri dari lebih dari satu senyawa dan mungkin tidak semuanya dapat mengembun. Kondensasi homogen (*homogenous*) dapat terjadi ketika uap didinginkan sampai di bawah temperatur jenuhnya sampai menghasilkan *droplet nucleation*, disebabkan oleh campuran cucuran dua macam uap pada temperatur yang berbeda, pendinginan campuran *vapour-noncondensable* (*fog formation in the atmosphere*) atau penurunan tekanan tiba-tiba pada uap (*sudden depressurization of vapour*). Kebanyakan proses kondensasi adalah kondensasi heterogen, di mana *droplets* terbentuk dan tumbuh pada permukaan benda

padat. Pendinginan yang cukup diperlukan untuk kondensasi ini ketika permukaannya halus dan kering. Laju pertumbuhan *droplet* di dalam kondensasi heterogen dapat dimodelkan dengan menggunakan teori energi kinetik. Pada kenyataannya, sebagian besar proses kondensasi adalah *heterogenous*, dimana *droplet* terbentuk dan muncul pada permukaan benda padat. Pendinginan uap yang cukup dibutuhkan untuk memulai kondensasi ketika permukaannya halus dan kering. Kondensasi heterogen dapat memicu terbentuknya *dropwise* atau *film condensation*.

Kondensasi butiran (*dropwise condensation*) terjadi bila cairan kondensat jatuh membasahi permukaan dan membentuk lapisan (*film*). *Dropwise condensation* adalah cara perpindahan kalor yang paling efisien, di mana laju perpindahan kalor kondensasinya lebih besar daripada *filmwise condensation* (Ghiaasiaan, 2008). Selanjutnya, akumulasi *droplet* pada permukaan ini dapat menginisiasi terbentuknya *liquid film*. Kondensasi lapisan (*film condensation*) adalah cara kondensasi yang umum di dalam kebanyakan sistem. Kondensat dalam bentuk *droplet* membasahi permukaan, kemudian jatuh bergabung dan membentuk sebuah lapisan cairan. Lapisan cairan mengalir karena pengaruh gravitasi, gesekan uap dan sebagainya. Kondensasi lapisan ini banyak aplikasinya di dunia keteknikan (*engineering*). Pada aliran *liquid condensate* melibatkan fenomena seperti aliran laminar, gelombang (*wavy*), transisi laminar-turbulen, dan butiran jatuh pada permukaan lapisan cairan (*droplet entrainment at film surface*). Proses kondensasi *dropwise* dan *film*, keduanya melibatkan permukaan yang dingin dan padat. Pada kondenser, seperti pada *heat exchanger*, aliran fluida kondensasi dipisahkan dari aliran fluida pendingin dengan dinding pipa. Pada aplikasi yang sama, tetapi aliran kedua fluida kontak langsung adalah kondensasi pada percikan cair dingin lanjut (*subcooled liquid sprays*). Contoh lain adalah kondenser siklus Rankine terbuka (*open Rankine cycles*) seperti kondenser kontak langsung (*direct-contact condensers*) pada *ocean thermal energy conversion concept* (Ghiaasiaan dkk., 1991).

Berdasarkan uraian tersebut di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa koefisien perpindahan kalor kondensasi dipengaruhi oleh jenis kondensasi yang terjadi. Koefisien perpindahan kalor tertinggi terjadi pada peristiwa *dropwise condensation*, kemudian diikuti *droplet condensation* dan *film condensation*.

Ketika gas mengalir diatas permukaan cair dengan kecepatan yang relatif cukup besar pada pipa atau saluran horisontal, bidang pemisah gas dan zat cair menjadi berombak, yang kemudian meningkatkan kecepatan gas atau zat cair tersebut, dan akhirnya ombak menjadi tidak stabil dan membesar untuk mengisi semua bagian saluran / pipa. Hasilnya, transisi dari arus *stratified* bergelombang ke pola aliran sumbat likuid terjadi. Selama lebih dari 30 tahun, sejumlah penelitian baik eksperimental maupun teoritis telah dilakukan terkait dengan transisi ke pola aliran kantung. Sejumlah penelitian yang sama terkait dengan fenomena aliran arus berlawanan terbatas, yang umumnya dikenal dengan *flooding*, juga telah dilaksanakan selama periode yang sama. Kecuali penelitian yang paling baru dipublikasikan setelah tahun 1990, hampir sebagian besar teori tentang transisi aliran sumbat cairan telah secara teliti dilakukan oleh Kordyban (1990). Kordyban dan Ranov (1970) menyatakan bahwa pola aliran sumbat cairan mengikuti ketidakstabilan gelombang *Kelvin-Helmholtz*. Mereka mengakui kestabilan gelombang amplitudo tetap di lapisan film tipis. Wallis dan Dobson (1973) juga melakukan eksperimen dan analisis tentang transisi aliran sumbat likuid pada saluran segiempat horisontal dengan udara dan air pada tekanan atmosfer. Untuk menganalisa stabilitas gelombang, Taitel dan Dukler (1976) mempertimbangkan ketidakstabilan *Kelvin – Helmholtz* terjadi ketika tekanan rendah (*low pressure*) mengatasi efek stabilisasi pada puncak gelombang. Gardner (1979) juga mengembangkan teori inisiasi aliran sumbat cairan berdasarkan perubahan energi. Mishima dan Ishi (1980) di pihak lain, memperluas analisis Kordyban dan Ranov (1970) dan memperkenalkan konsep gelombang yang paling berbahaya (*most dangerous wave*), untuk memprediksi kriteria ketidakstabilan. Istilah fraksi hampa dari model Mishima dan Ishi identik dengan milik Wallis dan Dobson, hanya berbeda pada koefisien numerik dari model mereka. Perlu dicatat bahwa koefisien numerik dari model Chun (1996) adalah 0,47, yang menghasilkan derivasi teoritis, dimana koefisien numerik diperoleh Wallis dan Dobson (1973), Mishima dan Ishi (1980) secara berurutan adalah 0,5 dan 0,478.

Salah satu aplikasi yang paling penting dari kriteria transisi aliran sumbat cairan pada sistem reaktor nuklir adalah bahwa kriteria ini digunakan sebagai pengenalan kriteria *condensation-induced water-hammer* (CIWH), yang dikenal sebagai bentuk *water hammer* yang paling merusak dalam reaktor air tekan (PWR). Kriteria terbentuknya aliran kantung (*slug*) secara langsung digunakan sebagai kriteria mulai terjadinya CIWH (Chun dan Nam, 1992).

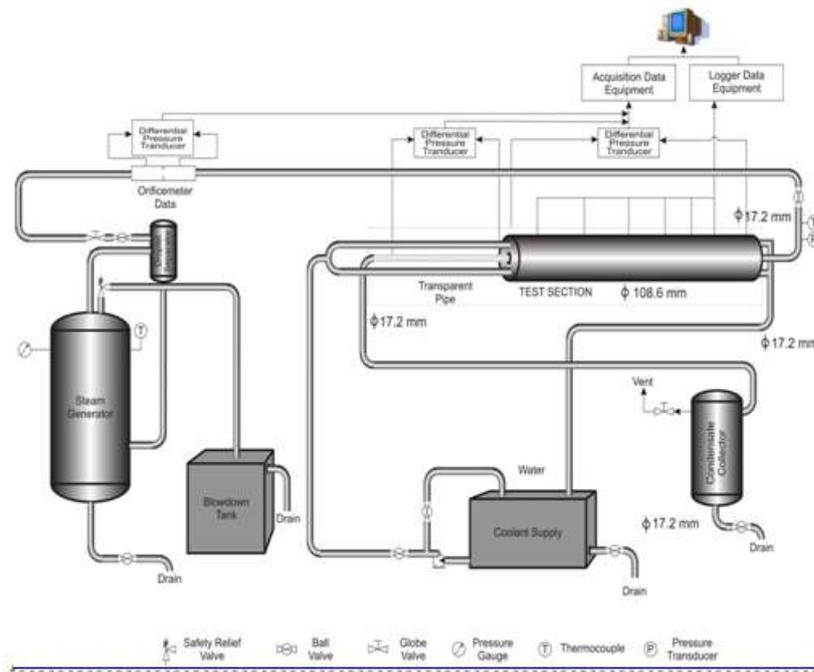
Berdasarkan uraian tersebut di atas maka dilakukan penelitian ini, dengan tujuan untuk menjelaskan secara kuantitatif terjadinya pola aliran *slug* yang didefinisikan

sebagai inisiasi *waterhammer* berbasis analisa data profil temperatur pada posisi *circumferential* pipa.

**Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan**

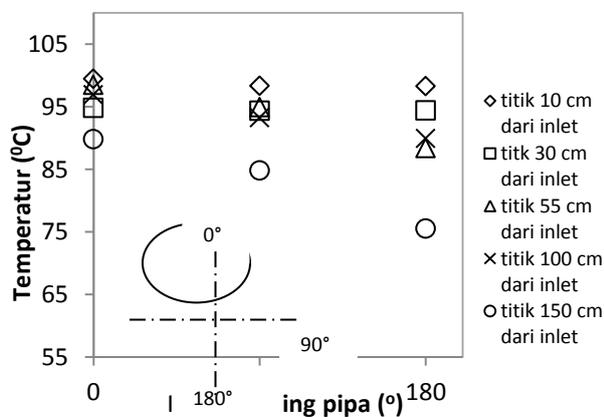
Bahan yang digunakan dalam hal ini adalah air murni (H<sub>2</sub>O), yang kemudian dipanaskan dengan menggunakan *boiler* untuk menghasilkan uap air yang kemudian dikondensasikan untuk membentuk aliran uap-kondensat pada pipa horisontal, dan air yang digunakan sebagai pendingin pada pipa anulus bagian luar. Alat pengambilan data seperti ditunjukkan pada

gambar 1, terdiri atas pipa anulus bagian dalam dengan bahan tembaga ( $d_{in} = 17.2 \text{ mm}$ ,  $d_o = 19 \text{ mm}$ ) dengan panjang 1,8 m, sedangkan pipa anulus bagian luar adalah *Galvanized Iron Pipe* ( $d_{in} = 108.3 \text{ mm}$ ,  $d_o = 114.3 \text{ mm}$ ) dengan panjang 1,6 m. Penelitian ini dilakukan pada tekanan statis dan temperatur sebelum memasuki pipa uji ialah  $P_s=108,825 \text{ kPa}$   $T=119,7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Termokopel tipe 36 TT OMEGA dengan material *chromel* (+) and *alumel* (-) digunakan untuk mendeteksi penyebaran temperatur yang terjadi di sepanjang pipa ( $L=1,6 \text{ m}$ ). Peralatan akuisisi data seri RX 40 (OMRON, 20 Channels) digunakan untuk merekam data temperatur dengan *sampling rate* 5 Hz.



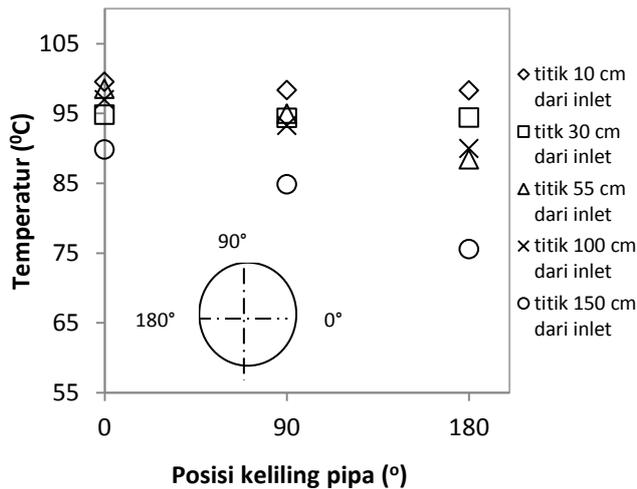
**Gambar 1.** Skema instalasi alat uji

**Hasil dan Pembahasan**



**Gambar 2.** Tipikal profil temperatur terhadap posisi keliling pipa ( $\dot{m}_{st} = 6,5 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ ,  $\dot{m}_{co} = 4,23 \times 10^{-1} \text{ kg/s}$ ).

Profil temperatur terhadap posisi keliling pipa secara tipikal dapat dilihat pada gambar 2 dan 3. Dari gambar tersebut dapat dijelaskan bahwa temperatur tertinggi berada pada posisi 0° (atas), kemudian disusul posisi 90° (samping) dan 180° (bawah), hal ini mengindikasikan bahwa uap lebih banyak bersentuhan dengan dinding pipa bagian atas yang kemudian terkondensasi dan jatuh atau mengalir melalui dinding bagian samping sebelum akhirnya jatuh ke bagian bawah. Dengan demikian temperatur terendah berada pada bagian bawah yang sekaligus menunjukkan terjadinya penumpukan kondensat, sehingga tebal atau tipisnya lapisan kondensat ditunjukkan oleh tinggi rendahnya temperatur kondensat bagian bawah.



**Gambar 3.** Tipikal profil temperatur terhadap posisi keliling pipa ( $\dot{m}_{st} = 7,6 \times 10^{-3}$  kg/s,  $\dot{m}_{co} = 4,23 \times 10^{-1}$  kg/s).

Tebal atau tipisnya kondensat inilah yang berpengaruh terjadinya pola aliran *slug* yang mampu menginisiasi terjadinya *water hammer*.

Debit air pendingin mulai variasi laju aliran uap masuk terkecil ( $\dot{m}_{st} = 1,6 \times 10^{-3}$  kg/s) sampai dengan terbesar ( $\dot{m}_{st} = 7,6 \times 10^{-3}$  kg/s) dijaga konstan yaitu  $4,23 \times 10^{-1}$  kg/s, demikian juga sebaran temperaturnya mempunyai pola kecenderungan yang sama, di mana semakin jauh dari inlet temperaturnya semakin menurun dengan membentuk garis linear, temperatur tertinggi 31,67°C (pada titik 10 cm dari sisi masuk) dan terendah 27,02°C (pada titik 150 cm dari sisi masuk) serta rerata 28,96°C.

### Kesimpulan

Dari uraian tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa profil temperatur terhadap posisi keliling pipa (*circumferential*) tertinggi berada pada posisi 0° (atas), kemudian disusul posisi 90° (samping) dan 180° (bawah). Dengan demikian temperatur terendah berada pada bagian bawah yang sekaligus menunjukkan terjadinya penumpukan kondensat. Tebal atau tipisnya kondensat inilah yang berpengaruh terjadinya pola aliran *slug* yang mampu menginisiasi terjadinya *water hammer*.

### Ucapan Terima kasih

Terima kasih disampaikan kepada Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Republik Indonesia

yang telah memberikan kesempatan dan pendanaan pada penelitian ini.

### Nomenklatur

- $\dot{m}$  Massa aliran (kg/s)
- P Tekanan (Nm<sup>-2</sup>)
- d Diameter (m)
- C Celcius

### Greek letters

- $\phi$  Diameter (m)

### Subsripts

- in input
- o output
- s Statis
- st Steam
- co Coolant

### Referensi

- Ghiaasiaan, M.S., 2008, *Two-Phase Flow, Boiling, and Condensati on in Conventional and Miniature System*, Cambridge University Press, New York, pp 112 – 492
- Ghiaasiaan, M.S., Wassel, A.T., dan Lin, C.S., 1991, *Direct Contact Condensation in the presence of noncondensables in OC-O TEC Condensers*, J. Solar Energy Eng.-113, 228-235
- Gardner, G.C.: "Onset of Slugging in Horizontal Ducts" Int. J. Multiphase Flow 5 (1979) 201-209
- Kordyban, E. S. & Ranov, T., 1970, *Mechanism of Slug Formation in Horizontal Two-Phase Flow*. J. Basic Engng 92, pp 857-864.
- Kordyban, E. S., 1990, *Horizontal slug Flow : A Comparation of Existing Theories*, ASME J. Fluids Eng., Vol. 112, pp 74-83
- Wallis, G. B. & Dobson, J. E. 1973. *The onset of slugging in horizontal stratified air-water flow*. Int. J. Multiphase Flow 1, 173-193.
- Taitel, Y., and A.E. Dukler, 1976. *A Theoretical Approach to the Lockhart-Martinelli Correlation for Stratified Flow*, Int. J. Multiphase Flow, 2, pp 591

- Mishima, K. & Ishii, M. 1980 Theoretical prediction of onset of horizontal slug flow. *ASME J. Fluids Eng., ASME Trans.* **102**, 441-445.
- Chun, M.H., Lee, B.R., Nam, H.Y., 1996. *Theoretical and experimental investigation of onset slugging in horizontal stratified air-water countercurrent flow.* Int. Commun. Heat Transfer 23, pp 11-22.
- Chun, M.H., Nam, H.Y., 1992. *Analysis of water hammer Induced by Steam-water counterflow in a long horizontal pipe.* Int. Commun. Heat Transfer 19, 507-518.