

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
INTISARI	xix
ABSTRACT	xx
BAB I PENDAHULUAN	2
1.1. Latar Belakang	2
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Batasan Masalah	6
1.4. Tujuan Penelitian	6
1.5. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Sistem Pendingin Pasif	7
2.1.1. <i>Pre-pressurized core flooding tanks</i>	7
2.1.2. <i>Elevated tank natural circulation loops</i>	8
2.1.3. <i>Elevated gravity drain tanks</i>	9
2.1.4. <i>Passively cooled steam generator natural circulation</i>	10
2.1.5. <i>Passive residual heat removal heat exchangers</i>	11
2.1.6. <i>Passively cooled core isolation condensers (steam)</i>	12

2.1.7. <i>Sump natural circulation</i>	13
2.2. Aplikasi Fenomena Laju Aliran Sirkulasi Alami	13
2.3. Penelitian Sirkulasi Alami	15
BAB III LANDASAN TEORI	28
3.1. Prinsip Kerja Aliran Sirkulasi Alami	28
3.2. Laju Pemindahan Kalor	29
3.3. Bilangan Tak-Berdimensi	31
3.3.1. Bilangan Reynolds	31
3.3.2. Bilangan Grashof	32
3.3.3. Bilangan Prandtl	33
3.3.4. Bilangan Nusselt	33
3.3.5. Bilangan Rayleigh	36
3.4. Faktor Gesekan	37
3.5. Pemrosesan Sinyal	37
3.5.1. Probability density function analysis	38
3.5.2. Power spectral density analysis	38
3.5.3. Wavelet analysis	39
BAB IV METODE PENELITIAN	40
4.1. Alat Penelitian	40
4.2. Alat Ukur	42
4.2.1. Flowmeter elektromagnetik	42
4.2.2. Termokopel	43
4.3. Lokasi Penelitian	44
4.4. Kondisi Eksperimental	44
4.5. Pengolahan Data	46

4.6.	Analisa Ketidakpastian	46
4.6.1.	Kalibrasi termokopel	46
4.6.2.	Kalibrasi flowmeter	48
4.6.3.	Ketidakpastian variabel penelitian	48
4.7.	Diagram Alir Penelitian	51
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		52
5.1.	Karakteristik Tekanan dan Laju Aliran Sirkulasi Alami	52
5.1.1.	Karakteristik temperatur	52
5.1.2.	Karakteristik beda temperatur	57
5.1.3.	Karakteristik penurunan tekanan	59
5.1.4.	Karakteristik aliran sirkulasi alami	60
5.2.	Analisis Bilangan Tak Berdimensi	62
5.2.1.	Hubungan bilangan Rayleigh dan laju pemindahan kalor	62
5.2.2.	Hubungan bilangan Reynolds dan bilangan Rayleigh	63
5.2.3.	Hubungan bilangan Rayleigh dan bilangan Nusselt	64
5.2.4.	Hubungan bilangan Reynolds dan rasio bilangan Grashof terhadap parameter N_G	67
5.3.	Identifikasi Aliran Sirkulasi Alami Menggunakan Metode PDF, PSD dan DWT	68
BAB VI PENUTUP		82
6.1.	Kesimpulan	82
6.2.	Saran	82
DAFTAR PUSTAKA		83
LAMPIRAN		89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 pre-pressurized core flooding tank (accumulator)	8
Gambar 2. 2 Elevated tank natural circulation loops (core make-up tanks)	9
Gambar 2. 3 Elevated gravity drain tank	10
Gambar 2. 4 Core decay heat removal using a passively cooled steam generator (water-cooled)	10
Gambar 2. 5 Core decay heat removal using a passively cooled steam generator (water-cooled)	11
Gambar 2. 6 Core decay heat removal using a water-cooled passive residual heat removal heat exchanger loop	12
Gambar 2. 7 Isolation condenser cooling system	12
Gambar 2. 8 Core cooling by sump natural circulation	13
Gambar 2. 9 Sistem pembuangan decay heat dengan immersed heat exchanger	14
Gambar 2. 10 Theoretical model of a vertical loop with point heat source and sink	15
Gambar 2. 11 Bilangan Nusselt versus bilangan Rayleigh pada untai regtangular	17
Gambar 2. 12 Schematic of the test loop	18
Gambar 2. 13 Grafik Re vs Gr_{m}/NG dengan konvigurasi VHVC dan HHHC	19
Gambar 2. 14 Grafik beda temperatur antara hasil eksperimental dan prediksi CFD	20
Gambar 2. 15 Meshing model loop VHVC	21
Gambar 2. 16 Grafik perbandingan EBRSM dengan k-omega SST pada temperatur dan kecepatan aliran	21
Gambar 2. 17 Fasilitas DYNASTY dengan meshing pada penampang fluida	22
Gambar 2. 18 Profil temperatur pada untai dan grafik temperatur	23
Gambar 2. 19 Backward flow untai uji FASSIP-01	23
Gambar 2. 20 Backward flow phenomenon	24
Gambar 2. 21 Grafik kecepatan aliran terhadap beda temperatur	25

Gambar 3. 1 Sistem sirkulasi alami sederhana	28
Gambar 3. 2 Skema pemindahan kalor pada HTS dan CTS	30
Gambar 3. 3 Skema resistansi termal pada HTS	34
Gambar 4. 1 untai FASSIP 03 NT	40
Gambar 4. 2 Skema Instalasi untai FASSIP-03 NT	42
Gambar 4. 3 Flowmeter elektromagnetik	42
Gambar 4. 4 Termokopel Tipe-K	44
Gambar 4. 5 Hasil kalibrasi termokopel	47
Gambar 4. 6 Diagram alir tahapan ekperiment.	51
Gambar 5. 1 Karakteristik temperatur pada kondisi $T_{HTS} 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	54
Gambar 5. 2 Karakteristik temperatur pada kondisi $T_{HTS} 45\text{ }^{\circ}\text{C}$	55
Gambar 5. 3 Karakteristik temperatur pada kondisi $T_{HTS} 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	56
Gambar 5. 4 Karakteristik temperatur pada kondisi $T_{HTS} 55\text{ }^{\circ}\text{C}$	56
Gambar 5. 5 Karakteristik temperatur pada kondisi $T_{HTS} 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	56
Gambar 5. 6 Karakteristik temperatur pada kondisi $T_{HTS} 65\text{ }^{\circ}\text{C}$	56
Gambar 5. 7 Karakteristik temperatur pada kondisi $T_{HTS} 70\text{ }^{\circ}\text{C}$	56
Gambar 5. 8 Karakteristik temperatur pada kondisi $T_{HTS} 75\text{ }^{\circ}\text{C}$	56
Gambar 5. 9 Beda temperatur terhadap pengaruh variasi T_{HTS}	58
Gambar 5. 10 Perbedaan tekana terhadap pengaruh variasi T_{HTS}	60
Gambar 5. 11 Debit aliran sirkulasi alami terhadap pengaruh variasi T_{HTS}	61
Gambar 5. 12 Bilangan Re terhadap laju pemindahan kalor pada kondisi tunak	62
Gambar 5. 13 Bilangan Re terhadap bilangan Re pada kondisi tunak	64
Gambar 5. 14 Korelasi antara bilangan Nu terhadap bilangan Re pada kondisi tunak	66
Gambar 5. 15 Korelasi antara bilangan Re terhadap parameter Gr/N_G pada kondisi tunak	68
Gambar 5. 16 Trendline PSD untuk sinyal (a) Penurunan tekanan dan (b) Debit aliran	77
Gambar 5. 17 Trendline energi wavelet untuk sinyal (a) Penurunan tekanan dan (b) Debit aliran	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Daftar studi eksperimental sirkulasi alami pada untai regtangular dengan konfigurasi VHVC	25
Tabel 2. 2 Daftar studi identifikasi aliran sirkulasi alami menggunakan korelasi bilangan tak-berdimensi.	27
Tabel 4. 1 Data geometri untai FASSIP-03 NT	41
Tabel 4. 2 Datasheet Flowmeter elektromagnetik	43
Tabel 4. 3 Spesifikasi Termokopel	44
Tabel 4. 4 Matrik eksperimen	45
Tabel 4. 5 Sifat termo-fisik air	45
Tabel 5. 1 Ketidakpastian beda temperatur	89
Tabel 5. 2 Ketidakpastian penurunan tekanan	89
Tabel 5. 3 Ketidakpastian debit aliran sirkulasi alami	90
Tabel 5. 4 Ketidakpastian pemindahan kalor dan bilangan Rayleigh	90
Tabel 5. 5 Ketidakpastian bilangan Reynolds	91
Tabel 5. 6 Ketidakpastian bilangan Nusselt	91
Tabel 5. 7 Ketidakpastian bilangan Grashof	91
Tabel 5. 8 Analisis PDF dan PSD pada sinyal penurunan tekanan	70
Tabel 5. 9 Analisis detail sinyal D6 dan DWT pada sinyal penurunan tekanan	71
Tabel 5. 10 Analisis PSD dan DWT pada sinyal debit aliran sirkulasi alami	73
Tabel 5. 11 Analisis detail sinyal D6 dan DWT pada sinyal debit aliran sirkulasi alami	74

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Huruf Yunani:

α	: Sudut inklinasi ($^{\circ}$)
β	: <i>Beta</i>
Δ	: <i>Delta</i> (Selisih)
δ	: <i>Uncertainty</i> (-)
μ	: Viskositas dinamis (Pa.s)
ρ	: Densitas (kg/m^3)

Huruf latin:

A	: Luas penampang (m^2)
C_p	: Panas spesifik saat tekanan konstan (J/Kg.K)
D	: Diameter pipa (m)
d	: Diameter dalam pipa (m)
g	: Percepatan gravitasi (m/s^2)
h	: Ketinggian (m)
K	: Konduktivitas termal (W/m.K)
l	: Panjang (m)
m	: Massa (kg)
\dot{m}	: Laju aliran massa fluida (kg/s)
Nu	: Bilangan Nusselt
Q	: Debit aliran (m^3/s)
q	: Laju pemindahan kalor (W/m^2)
T	: Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
t	: Waktu (s)
Re	: Bilangan Reynolds
v	: Kecepatan aliran fluida (m/s)

Akronim:

BWR	: <i>boiling water reactor</i>
BRIN	: Badan Riset dan Inovasi Nasional
CTB	: <i>cooling thermal bath</i>
CWT	: <i>cooling water tank</i>
FASSIP 03 NT	: “Fasilitas Simulasi Sistem Pasif” Model ke-3
NI	: <i>national instrument</i>
PCS	: <i>passive cooling system</i>
PLTN	: Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir
PRHRS	: <i>passive residual heat removal system</i>
PRTRN	: Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir
PWR	: <i>pressurized water reactor</i>
RIIM	: Riset Inovasi Indonesia Maju
SBO	: <i>station blackout</i>
SMR	: <i>small modular reactor</i>
SPNCL	: <i>single-phase natural circulation loop</i>
SSR	: <i>solid state relay</i>
VHHC	: <i>vertical heating horizontal cooling</i>