

**ANALISA NUMERIK TRANSFER KALOR KONVEKSI FLUIDA  
NANO TiO<sub>2</sub>/WATER PADA KONDISI BATAS TEMPERATUR  
PERMUKAAN KONSTAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik



Oleh:

IVAN RIANDANA KURNIAWAN

NIM. 10412028

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
2017**

## **HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN**

Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Jika terdapat hal-hal yang tidak sesuai dengan ini, maka saya bersedia derajat kesarjanaan saya dicabut.

Surakarta, 6 Januari 2017

Ivan Riandana Kurniawan

## PERSEMBAHAN

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT atas segala nikmat cahaya ilmu pengetahuan kemudahan serta petunjuk yang diberikan sehingga terselesaikan tugas akhir ini. Dengan segala kerendahan hati seraya mengucapkan syukur dan terimakasih kupersembahkan tulisan ini kepada:

1. Allah SWT, pemilik segala keagungan, kemuliaan, kekuatan dan kesempurnaan. Segala yang kualami adalah kehendak-Mu, semua yang kuhadapi adalah kemauan-Mu, segala puji hanya bagi-Mu, ya Allah, pemilik alam semesta, tempat bergantung segala sesuatu, tempat memohon pertolongan.
2. Junjungan Nabi besar Muhammad SAW, manusia terbaik di muka bumi, uswatun hasanah, penyempurna akhlak, sholawat serta salam semoga selalu tercurah padanya, keluarga, sahabat dan pengikutnya yang istiqomah hingga akhir zaman.
3. Kasih sayang dan cinta yang tak pernah putus dari kedua orangtua dan dukungan adik serta kakak yang selalu mendukung.
4. Dr. Budi Kristiawan, S.T., M.T dan Dr. Budi Santoso, S.T., M.T yang tak pernah lelah untuk membimbing tugas akhir saya.
5. Raden Mahesa Ramadhan selaku teman seperjuangan dikala susah, sedih, dan senang dalam mengerjakan tugas akhir ini.
6. Aldi Ruvian, Dandy Anugerah, Dharma Nugraha, Fachri Siddik, dan Nuryawan Mirsa yang telah menjadi teman satu atap selama 4 tahun.
7. Seluruh rekan Teknik Mesin khususnya angkatan 2012 yang sangat membantu berupa dukungan yang tiada henti.
8. Serta pihak yang telah mendukung tugas akhir ini dapat terlaksana.

## **MOTTO**

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(Al-Insyirah:6)

“Seek knowledge from the cradle to the grave”

(Prophet Muhammad)

“There’s nothing you can do that can’t be done”

(The Beatles - All you need is love)

“There’s four and twenty million doors on life’s endless corridor”

(Oasis – The Masterplan)

## **KATA PENGANTAR**

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Pemurah. Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Yang Maha Besar, karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyusun dan menyelesaikan laporan skripsi ini dengan baik.

Skripsi ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Dalam penyelesaian Skripsi ini tidak mungkin dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, terutama kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kuasa, rahmat, berkah, dan hidayah-Nya.
2. Ayah dan ibu penulis yang selalu mencurahkan segala doa, daya dan kemampuannya untuk penulis sehingga penulis mampu menjadi seperti sekarang ini.
3. Dr. Budi Kristiawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan dukungan yang begitu banyak dan memberikan solusi ketika penulis mendapatkan kesulitan.
4. Dr. Budi Santoso, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan saran, solusi, dan bersedia membantu tata tulis dalam penyusunan laporan ini.
5. Bapak Agung Tri Wijayanta, Bapak Dominicus Danardono dan Bapak R Lulus Bambang, selaku dewan penguji yang telah memberikan saran dan kritik yang membangun. Terimakasih banyak atas segala masukan, kritik, dan saran yang telah diberikan kepada penulis.
6. Raden Mahesa Ramadhan selaku teman seperjuangan dalam tugas akhir ini.
7. Teman-teman Kos Cemburu yang selalu memberikan dukungan tiada henti

8. Seluruh rekan Teknik Mesin khususnya angkatan 2012 yang telah membantu dalam penyusunan laporan skripsi ini.
9. Seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung yang telah memberikan bantuan dan dukungannya dalam pembuatan laporan ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran serta kritik yang dapat membangun laporan ini agar menjadi lebih baik.

Akhir kata semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan berguna bagi kita semua. Amin.

Surakarta, 6 Januari 2017

Penulis

# **ANALISA NUMERIK TRANSFER KALOR KONVEKSI FLUIDA NANO TiO<sub>2</sub>/WATER PADA KONDISI BATAS TEMPERATUR PERMUKAAN KONSTAN**

**Ivan Riandana Kurniawan**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta,  
Indonesia.

Email: [ivanriandana@gmail.com](mailto:ivanriandana@gmail.com) / [ivanriandana@student.uns.ac.id](mailto:ivanriandana@student.uns.ac.id)

## **ABSTRAK**

Penambahan partikel nano kedalam fluida dasar atau disebut fluida nano menjadi salah satu solusi untuk meningkatkan performa transfer kalor. Studi numerik transfer kalor fluida nano TiO<sub>2</sub>/Water yang mengalir pada pipa tegak lurus horizontal berukuran mikro dengan kondisi batas temperatur permukaan konstan telah dilakukan dengan menggunakan ANSYS Fluent. Metode pemodelan dua fasa (*two-phase mixture model*) diterapkan secara numerik untuk menginvestigasi transfer kalor TiO<sub>2</sub>/Water dengan fraksi volum 0,24, 0,6, 1,18 vol.% pada aliran laminar dan turbulen. Peningkatan transfer kalor TiO<sub>2</sub>/Water sebesar maksimal 20% terhadap fluida dasar air didapatkan dari analisa secara numerik. Nilai koefisien transfer kalor fluida nano meningkat dengan bertambahnya fraksi volum dan bilangan Reynolds. Perbandingan hasil numerik dengan beberapa korelasi juga diterapkan. Hasil numerik menunjukkan kesesuaian dengan salah satu korelasi yang didapatkan dari studi eksperimental sebelumnya.

*Kata kunci: transfer kalor, analisa numerik, fluida nano, TiO<sub>2</sub>/Water, temperatur permukaan konstan, laminar, turbulen.*

# NUMERICAL STUDY OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER TiO<sub>2</sub>/WATER NANOFLUIDS UNDER CONSTANT SURFACE TEMPERATURE BOUNDARY CONDITION

**Ivan Riandana Kurniawan**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta,  
Indonesia.

Email: [ivanriandana@gmail.com](mailto:ivanriandana@gmail.com) / [ivanriandana@student.uns.ac.id](mailto:ivanriandana@student.uns.ac.id)

## ABSTRACT

The addition of nanoparticles into the common base fluid (nanofluid) has become one of the solutions to increase the heat transfer performance. The numerical study of convective heat transfer TiO<sub>2</sub>/Water nanofluids which flow through a horizontal pipe under the constant surface temperature has been studied by using ANSYS code Fluent. Two-phase mixture model was applied numerically to investigate the heat transfer of TiO<sub>2</sub>/Water with different volume fractions (0,24, 0,6, 1,18 vol.%) in laminar and turbulent flow. The maximal value of heat transfer enhancement is 20%, it is obtained from the numerical analysis. The heat transfer coefficient nanofluid will increase by the increasing of volume fractions and Reynolds number. The comparison between the numerical result and some correlations from previous study shows that there is a good agreement between the result and one of the correlation from the previous experimental study.

*Keywords: heat transfer, numerical study, nanofluids, TiO<sub>2</sub>/Water, constant surface temperature, laminar flow, turbulent flow.*



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN SURAT PENUGASAN TUGAS AKHIR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN .....	iv
HALAMAN MOTTO.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	3
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
BAB II DASAR TEORI .....	5
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.2. Dasar Teori .....	7
2.2.1. Dasar transfer kalor .....	7

2.2.2. Aliran dalam pipa.....	7
2.2.3. Aliran berkembang penuh.....	10
2.2.4. Analisa transfer kalor konvektif .....	13
2.2.5. Tekanan statis, dinamik, dan stagnasi (total) .....	15
2.3. <i>Two-phase mixture model</i> .....	16
2.3.1. Pendekatan Euler Lagrange .....	16
2.3.2. Pendekatan Euler-Euler .....	17
<b>BAB III METODOLOGI PERANCANGAN .....</b>	<b>18</b>
3.1. Pelaksanaan Penelitian.....	18
3.2. Metode Numerik .....	18
3.3. Sifat-sifat termofisik Nanofluida .....	22
3.4. Diagram Alir Penelitian .....	24
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>26</b>
4.1. Validasi Model Numerik.....	26
4.1.1. Validasi Termal Aliran Laminar.....	26
4.1.2. Validasi Termal Aliran Turbulen.....	28
4.1.3. Validasi Hidrodinamik Aliran Turbulen.....	29
4.2. Aplikasi Model .....	31
4.2.1. Distribusi Temperatur Aliran Laminar .....	31
4.2.2. Distribusi Temperatur Aliran Turbulen .....	35
4.3. Peningkatan Transfer Kalor Konveksi Fluida Nano Aliran Laminar .....	35
4.4. Peningkatan Transfer Kalor Konveksi Fluida Nano Aliran Turbulen ....	40
4.4.1. Penurunan Tekanan (Pressure Drop) .....	44
<b>BAB V Penutup .....</b>	<b>45</b>
5.1. Kesimpulan .....	45
5.2. Saran .....	45
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>46</b>

LAMPIRAN ..... 48

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Parameter dan <i>Properties</i> yang digunakan .....	24
Tabel 4.1. Bilangan nusselt dan Peningkatan transfer kalor Re 900 .....	37
Tabel 4.2. Bilangan nusselt dan Peningkatan transfer kalor Re 1500 .....	39
Tabel 4.3. Bilangan Nusselt pada aliran Turbulen .....	44

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bilangan Nusselt <i>Water</i> dan <i>TiO<sub>2</sub>/Water</i> , Sajadi dan Kazemi (2011) .....	5
Gambar 2.2 Perbandingan fasa tunggal, Fard <i>et al</i> (2010) .....	6
Gambar 2.3 Distribusi temperatur fluida nano <i>TiO<sub>2</sub>/air</i> , He iet al (2011) .....	7
Gambar 2.4 Fungsi kecepatan actual dan idealisasi untuk aliran dalam pipa.....	9
Gambar 2.5 Fungsi temperatur actual dan idealisasi untuk aliran dalam pipa ...	9
Gambar 2.6 Perkembangan lapis batas kecepatan dan termal .....	10
Gambar 2.7 Variasi faktor gesekan dan koefisien transfer kalor konveksi .....	11
Gambar 2.8 Variasi bilangan Nusselt pipa aliran turbulen .....	12
Gambar 2.9 Variasi temperatur rata-rata fluida pada.....	15
Gambar 3.1 Skema <i>non-uniform grid</i> dan konfigurasi <i>axisymmetric 2-D</i> .....	21
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.....	25
Gambar 4.1 Distribusi temperatur aksial fluida dan dinding pipa.....	27
Gambar 4.2 Validasi bilangan Nusselt laminar pada aliran dalam pipa.....	27
Gambar 4.3 Validasi bilangan Nusselt aliran turbulen.....	28
Gambar 4.4 Faktor gesekan aliran turbulen .....	29
Gambar 4.5 Tegangan geser pada aliran turbulen .....	29
Gambar 4.6 Hubungan antara transfer kalor konvektif dengan daya pemompaan .....	30
Gambar 4.7 <i>Temperature map</i> jenis aliran laminar fluida nano <i>TiO<sub>2</sub>/water</i> fraksi volume 0.6 vol% .....	31
Gambar 4.8 Profil radial temperature pada jarak aksial aliran dalam pipa.....	32
Gambar 4.9 Profil radial untuk kecepatan aksial aliran dalam pipa .....	34
Gambar 4.10 <i>Temperature map</i> jenis aliran turbulen fluida nano <i>TiO<sub>2</sub>/water</i> .....	35
Gambar 4.11 Koefisien transfer kalor lokal pada aliran laminar .....	36
Gambar 4.12 Variasi bilangan Nusselt lokal pada jarak aksial non-dimensional Re 900	38
Gambar 4.13 Variasi bilangan Nusselt lokal jarak aksial non-dimensional Re 1500....	38

Gambar 4.14 Koefisien transfer kalor fluida nano dan air aliran turbulen .....	40
Gambar 4.15 Perbandingan hasil simulasi dengan korelasi pada fraksi volume 0,24 vol.% .....	41
Gambar 4.16 Perbandingan hasil simulasi dengan korelasi pada fraksi volume 0,6 vol.% . .....	41
Gambar 4.17 Perbandingan hasil simulasi dengan korelasi pada fraksi volume 1,18 vol.% .....	42
Gambar 4.18 Penyimpangan antara korelasi dan simulasi numerik .....	42
Gambar 4.19 Bilangan Nusselt fluida nano $\text{TiO}_2/\text{Water}$ .....	43
Gambar 4.20 Penurunan tekanan fluida nano dan air. ....	44

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel data korelasi Edwards dan hasil simulasi Laminar Re 900 .....	48
Lampiran 2. Tabel data korelasi Edwards dan hasil simulasi Laminar Re 1500 ..	48
Lampiran 3. Tabel data koefisien transfer kalor lokal laminar .....	49
Lampiran 4. Tabel data bilangan Nusselt aliran turbulen dengan korelasi .....	50
Lampiran 5. Tabel data koefisien transfer kalor aliran turbulen .....	50
Lampiran 6. Tabel data faktor gesekan .....	51
Lampiran 7. Tabel data penurunan tekanan ( <i>pressure drop</i> ) .....	51
Lampiran 8. Gambar geometri Axisymmetric 2-D .....	51
Lampiran 9. Gambar meshing grid .....	52
Lampiran 10. Gambar profil kecepatan laminar .....	52
Lampiran 11. Gambar profil temperatur laminar .....	54
Lampiran 12. Gambar temperatur map laminar .....	56
Lampiran 13. Gambar temperatur map Turbulen .....	60
Lampiran 14. Persamaan konservasi massa, momentum, dan energi .....	73
Lampiran 15. Perbandingan Temperatur .....	76

## DAFTAR NOTASI

$A$	= Luas penampang ( $m^2$ )
$D_i$	= Diameter dalam pipa (m)
$f$	= Faktor gesekan
$h$	= Koefisien perpindahan panas ( $W/m^2K$ )
$K$	= Konduktivitas transfer kalor ( $W/mk$ )
$L$	= Panjang pipa (m)
$Nu$	= Bilangan Nusselt
$Pr$	= Bilangan Prandtl
$Re$	= Bilangan Reynolds
$T$	= Temperatur (K)
$V$	= Kecepatan fluida (m/s)
$C_p$	= Kalor jenis (J/Kg K)
$\rho$	= Densitas ( $Kg/m^3$ )
$\mu$	= Viskositas dinamik ( $Kg/m s$ )
$P$	= Tekanan (Pa)
$g$	= Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
$W_{pump}$	= Daya pemompaan (Watt)
$\phi$	= Fraksi volume
$\tau$	= Tegangan geser (Pa)

### **Subskrip**

nf	= fluida nano
bf	= fluida dasar
np	= partikel nano
LMTD	= Log mean