



UNIVERSITAS NASIONAL

**ANALISIS NUMERIK DAN OPTIMASI DESAIN PIPA DUA *ELBOW*
TERHADAP EROSI ALIRAN DUA FASA MENGGUNAKAN CFD – DPM**

SKRIPSI

MUHAMMAD THOHARI JATISIDI

217005516004

PROGRAM STUDI TEKNIK FISIKA

FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS

JAKARTA

AGUSTUS 2025



UNIVERSITAS NASIONAL

ANALISIS NUMERIK DAN OPTIMASI DESAIN PIPA DUA *ELBOW*
TERHADAP EROSI ALIRAN DUA FASA MENGGUNAKAN CFD – DPM

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu

MUHAMMAD THOHARI JATISIDI

217005516004

FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS

PROGRAM STUDI TEKNIK FISIKA

JAKARTA

AGUSTUS 2025



UNIVERSITAS NASIONAL

NUMERICAL ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF TWO – ELBOW PIPE
DESIGN AGAINST TWO – PHASE FLOW EROSION USING CFD – DPM

BACHELOR THESIS

Submitted as one of the requirements to obtain Bachelor's Degree

MUHAMMAD THOHARI JATISIDI

217005516004

FACULTY OF ENGINEERING AND SCIENCE

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS

JAKARTA

AUGUST 2025

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya ilmiah saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Muhammad Thohari Jatisidi

NIM : 217005516004

Tanda Tangan :

Tanggal : 13 Agustus 2025



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Thohari Jatisidi
NIM : 217005516004
Program Studi : Teknik Fisika
Judul Skripsi : ANALISIS NUMERIK DAN OPTIMASI DESAIN PIPA

DUA ELBOW TERHADAP EROSI ALIRAN DUA FASA
MENGUNAKAN CFD – DPM

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian dari persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu pada Program Studi Teknik Fisika Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional.

Dewan Penguji

Pembimbing 1 : Dr. Viktor Vekky Ronald Repi, S.T., M.T.

Pembimbing 2 : Kiki Rezki Lestari, S.T., M.Sc.

Penguji 1 : Fitria Hidayanti, S.Si., M.Si.

Penguji 2 : Erna Kusuma Wati, S.Pd.Si., M.Sc.

Penguji 3 : Prof Sunartoto Gunadi, M.Eng.

()
()
()
()
()

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Fisika



Erna Kusuma Wati, S.Pd.Si., M.Sc.

NID. 0108019011

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 13 Agustus 2025

KATA PENGANTAR

Dengan penuh rasa syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, penulis panjatkan puji dan syukur atas segala limpahan rahmat, kekuatan, serta kesempatan yang telah diberikan, sehingga skripsi dengan judul **“ANALISIS NUMERIK DAN OPTIMASI DESAIN PIPA DUA *ELBOW* TERHADAP EROSI ALIRAN DUA FASA MENGGUNAKAN CFD – DPM”** ini dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu di Program Studi Teknik Fisika, Universitas Nasional.

Skripsi ini tidak hanya hasil dari proses akademik, tetapi juga sebuah perjalanan yang penuh dengan tantangan, keraguan, serta pembelajaran. Di balik setiap data, grafik, dan teori yang ditulis, terdapat malam – malam panjang penuh perenungan, serta ketekunan yang diuji oleh waktu dan keadaan. Proses ini telah mengajarkan penulis bahwa ilmu bukan hanya sekadar pencapaian intelektual, melainkan juga bentuk ketulusan dalam memahami dunia dan memberi makna pada kehidupan.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa pencapaian ini tidaklah mungkin tanpa dukungan dan doa dari berbagai pihak. Ucapan terima kasih yang sebesar – besarnya penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Dr. El Amry, M.A. Selaku Rektor Universitas Nasional.
2. Bapak Ir. Ruliyanto, M.T., Ph.D. Selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional.
3. Ibu Erna Kusuma Wati, S.Pd. Si., M.Sc. Selaku Kepala Program Studi Teknik Fisika Universitas Nasional.
4. Bapak Dr. Viktor Vekky Ronald Repi, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing pertama saya yang telah banyak meluangkan waktu dan memberi arahan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Kiki Rezki Lestari, S.T., M.Sc. Selaku Dosen Pembimbing kedua saya yang telah banyak meluangkan waktu dan memberi arahan dalam penyusunan skripsi ini.
6. Ibu Fitri Rahmah, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus dosen mata kuliah Mekanika Fluida.

7. Prof. Sunartoto Gunadi, M.Eng. Selaku Dosen Metode Penelitian yang banyak memberikan arahan kepada saya terkait mekanisme penulisan laporan ilmiah.
8. Keluarga penulis Ayah, Mamah, Kakak, dan Ade yang telah memberikan dukungan kepada penulis selama penyusunan skripsi.
9. Segenap Dosen Fakultas Teknik dan Sains, Program Studi Teknik Fisika Universitas Nasional yang telah memberikan ilmu pengetahuan kepada saya.
10. Pemilik NIM 237005516002 yang telah menemani dan menjadi teman diskusi penulis selama mengerjakan skripsi dari awal hingga penulis memperoleh gelar Sarjana.
11. Rekan – rekan Teknik Fisika angkatan 2021 Muhamad Tri Agus Budiman dan Zakaryya yang telah berjuang bersama menempuh pendidikan tinggi di Teknik Fisika Universitas Nasional.
12. Rekan – rekan Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika (HMTF) periode 2024/2025 yang telah banyak membantu saya dalam menangani kegiatan himpunan.
13. Sahabat penulis Abdullah Hasan Dafa, S.T., Meby Sulaeman, S.T., dan Raihan Dwi Nurgroho, S.T. yang telah menemani penulis melalui tongkrongan.
14. Seluruh mahasiswa dan alumni Teknik Fisika Universitas Nasional dari angkatan 2019 – 2024.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Namun, besar harapan penulis bahwa karya ini dapat memberikan kontribusi, sekecil apa pun, dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi pijakan awal bagi penelitian – penelitian selanjutnya. Akhir kata, semoga segala yang telah ditulis dalam skripsi ini dapat memberi manfaat, tidak hanya secara akademis, tetapi juga secara manusiawi bahwa setiap proses adalah bagian dari pertumbuhan, dan setiap ilmu adalah cahaya yang pantas dibagikan.

Jakarta, 13 Agustus 2025

Muhammad Thohari Jatisidi

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DAN ARTIKEL /KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas Universitas Nasional, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Thohari Jatisidi

NIM : 217005516004

Program Studi : Teknik Fisika

Fakultas : Teknik dan Sains

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Nasional Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non – Exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“ANALISIS NUMERIK DAN OPTIMASI DESAIN PIPA DUA *ELBOW*
TERHADAP EROSI ALIRAN DUA FASA MENGGUNAKAN CFD – DPM”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Nasional berhak menyimpan, mengalismedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data, merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya dalam bentuk artikel/karya ilmiah selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 13 Agustus 2025

Yang menyatakan :



(Muhammad Thohari Jatisidi)

ABSTRAK

Nama : Muhammad Thohari Jatisidi
Program Studi : Teknik Fisika
Judul Skripsi : Analisis Numerik dan Optimasi Desain Pipa Dua *Elbow* Terhadap Erosi Aliran Dua Fasa Menggunakan CFD – DPM

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis laju erosi menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan *Discrete Phase Model* (DPM). Aliran dua fasa cair – padat pada konfigurasi pipa dua *elbow* yang disusun secara seri dapat menyebabkan erosi akibat perubahan arah aliran yang menimbulkan percepatan mendadak dan hantaman partikel yang terbawa oleh aliran fluida pada dinding *elbow*. Intensitas laju erosi terbukti meningkat signifikan seiring bertambahnya volume fraksi partikel. Hasil simulasi laju erosi pada volume fraksi partikel 5% adalah $3,833 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, volume fraksi partikel 7% adalah $5,366 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ dan volume fraksi 9% $6,899 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$. Selanjutnya, dilakukan simulasi pada desain *elbow* alternatif dengan modifikasi radius kelengkungan dan sudut tikungan. Hasilnya menunjukkan penurunan laju erosi maksimum hingga 98,07%, dengan nilai $1,33 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ pada volume fraksi 9%. Temuan ini menegaskan bahwa desain geometri *elbow* yang tepat dapat menjadi strategi efektif dalam mengurangi laju erosi serta meningkatkan keandalan sistem perpipaan industri.

Kata kunci: CFD, DPM, erosi, aliran dua fasa, *elbow*.

ABSTRACT

Name : Muhammad Thohari Jatisidi
Department : Engineering Physics
Title of Thesis : Numerical Analysis and Optimization of Two – Elbow
Pipe Design Against Two – Phase Flow Erosion Using
CFD – DPM

This study aims to analyze the erosion rate using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method combined with the Discrete Phase Model (DPM). Two – phase liquid – solid flow in a series configuration of two elbows can cause erosion rate due to changes in flow direction that cause sudden acceleration and impact of particles carried by the fluid flow on the elbow walls. The intensity of erosion rate was found to increase significantly with higher particle volume fractions. The simulation results show that the erosion rate at a 5% particle volume fraction is $3,833 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, at 7% is $5,366 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, and at 9% is $6,899 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$. Furthermore, a simulation was conducted on an alternative elbow design with modifications to the curvature radius and bending angle. The results indicate a maximum erosion rate reduction of up to 98,07%, with a value of $1,33 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ at a 9% particle volume fraction. These findings highlight that an appropriate elbow geometry design can serve as an effective strategy to mitigate erosion rate and enhance the reliability of industrial piping systems.

Keywords: CFD, DPM, erosion, two – phase flow, elbow.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	I
HALAMAN PENGESAHAN.....	II
KATA PENGANTAR.....	III
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DAN ARTIKEL /KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	V
ABSTRAK.....	VI
ABSTRACT.....	VII
DAFTAR ISI.....	VIII
DAFTAR TABEL.....	XI
DAFTAR GAMBAR	XII
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah.....	5
1.6. Sistematika Penulisan	6
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	8
2.1. Tinjauan Literatur.....	8
2.2. Sistem Perpipaian.....	11
2.2.1. Pipa dan Elbow	12
2.3. Erosi	13
2.4. Aliran Dua Fasa.....	14
2.4.1. Primary Flow.....	15
2.4.2. Secondary Flow.....	15
2.4.3. Secondary Phase.....	16

2.4.4. Interaksi antar Fasa	17
2.5. Computational Fluid Dynamics (CFD).....	18
2.5.1. Meshing.....	19
2.5.2. Model Turbulensi	20
2.6. Discrete Phase Model (DPM)	21
2.7. Grid Independency	22
2.8. Model Matematika	24
2.8.1. Aliran Fluida	25
2.8.2. Pergerakan Partikel	27
2.8.3. Model Erosi.....	28
BAB 3 METODE PENELITIAN	30
3.1. Alur Penelitian	30
3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	30
3.3. Metode Penelitian.....	31
3.4. Perangkat Keras dan Perangkat Lunak yang digunakan.....	31
3.5. Diagram Blok dan Skema Rangkaian Pipa Dua Elbow	34
3.6. Parameter Simulasi.....	36
3.6.1. Data Properti Partikel.....	36
3.6.2. Data Properti Fluida.....	39
3.6.3. Data Properti Material Rangkaian Pipa Dua Elbow	40
3.7. Langkah – langkah Simulasi.....	41
3.7.1. Pembuatan Geometri Elbow Menggunakan Autodesk Fusion 360.....	41
3.7.2. Proses Meshing	43
3.7.3. Proses Simulasi CFD – DPM.....	47
3.8. Validasi Hasil Simulasi	55
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	56
4.1. Pengujian Grid Independency	56
4.1.1. Fine Mesh.....	56
4.1.2. Medium Mesh	57
4.1.3. Coarse Mesh.....	58
4.2. Hasil Pengujian Grid Independency.....	58

4.2.1. Hasil Pengujian dengan Fine Mesh.....	59
4.2.2. Hasil Pengujian dengan Medium Mesh	65
4.2.3. Hasil Pengujian dengan Coarse Mesh.....	70
4.2.4. Penentuan Hasil Pengujian Mesh Optimum	74
4.3. Hasil Simulasi dan Analisis.....	76
4.3.1. Validasi Hasil Simulasi dengan Referensi Jurnal Ilmiah	77
4.3.2. Hasil Simulasi dengan Volume Fraksi 5%	78
4.3.3. Hasil Simulasi dengan Volume Fraksi 7%	83
4.3.4. Hasil Simulasi dengan Volume Fraksi 9%	87
4.4. Desain Elbow Alternatif.....	94
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	103
5.1. Kesimpulan	103
5.2. Saran.....	104
DAFTAR PUSTAKA.....	105
LAMPIRAN.....	110



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Properti Partikel [2]	37
Tabel 3. 2 Data Properti Partikel 5% [2] [4]	38
Tabel 3. 3 Data Properti Partikel 7% [2] [4]	39
Tabel 3. 4 Data Properti Partikel 9% [2] [4]	39
Tabel 3. 5 Data Properti Fluida [2].....	39
Tabel 3. 6 Data Properti Material Rangkaian Dua Elbow.....	40
Tabel 3. 7 Pengaturan Parameter Inflation Layer pada Proses Meshing.....	45
Tabel 4. 1 Nilai Kualitas Fine Mesh.....	57
Tabel 4. 2 Nilai Kualitas Medium Mesh.....	57
Tabel 4. 3 Nilai Kualitas Coarse Mesh.....	58
Tabel 4. 4 Hasil Simulasi Kecepatan Fluida dan Laju Erosi dari Tiga Variasi Mesh	74
Tabel 4. 5 Tabel Perbandingan Laju Erosi dengan Volume Fraksi 3,5% dan 5% .	83
Tabel 4. 6 Tabel Perbandingan Laju Erosi dengan Volume Fraksi 3,5%, 5%, dan 7%	87
Tabel 4. 7 Tabel Perbandingan Laju Erosi dengan Volume Fraksi Partikel Padat 3,5%, 5%, 7%, dan 9%.....	91
Tabel 4. 8 Parameter Variasi Geometri Elbow [2]	95
Tabel 4. 9 Kombinasi Skema Pengujian [2]	95
Tabel 4. 10 Analisis Rentang Laju Erosi Maksimum dari Uji Ortogonal	97
Tabel 4. 11 Jumlah Total Hasil Eksperimen dan Nilai Rata-rata Hasil Eksperimen	97
Tabel 4. 12 Perbandingan Geometri Elbow Terhadap Laju Erosi.....	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Skema Aliran Dua Fasa Cair – Padat	1
Gambar 2. 1 Elbow Pada Sistem Perpipaan Industri [3].....	12
Gambar 2. 2 Kontur Pipa Menggunakan CFD [28]	19
Gambar 2. 3 Hasil Proses Meshing [30]	19
Gambar 2. 4 Hubungan Antar Alur Penyelesaian Numerik	25
Gambar 2. 5 Ilustrasi Kurva Laju Erosi terhadap Sudut Hantaman (Model Oka) 29	29
Gambar 3. 1 Alur Penelitian.....	30
Gambar 3. 2 Laptop MSI Modern 14 C11M.....	32
Gambar 3. 3 Perangkat Lunak Autodesk Fusion 360.....	32
Gambar 3. 4 Perangkat Lunak Ansys Workbench.....	33
Gambar 3. 5 Diagram Blok Rangkaian Pipa Dua Elbow.....	34
Gambar 3. 6 Skema Rangkaian Pipa Dua Elbow.....	34
Gambar 3. 7 Geometri Dua Elbow Secara Seri.....	35
Gambar 3. 8 Sketsa Geometri 2D	42
Gambar 3. 9 Pembuatan Geometri 3D	42
Gambar 3. 10 Memasukan MultiZone dalam Proses Meshing.....	43
Gambar 3. 11 Memasukan Face Meshing dalam Proses Meshing.....	44
Gambar 3. 12 Memasukan Inflation dalam Proses Meshing.....	44
Gambar 3. 13 Visualisasi Inflation Layer Pada Proses Meshing	46
Gambar 3. 14 Mesh Setelah di Generate.....	47
Gambar 3. 15 Proses Penamaan Batas Geometri.....	47
Gambar 3. 16 Setup Ansys Fluent.....	48
Gambar 3. 17 Pengaturan Awal Simulasi.....	49
Gambar 3. 18 Mengatur Model Turbulensi.....	50
Gambar 3. 19 Properti Pengaturan Partikel Diskrit	51
Gambar 3. 20 Mengatur Kondisi Batas Simulasi (Boundary Condition)	52
Gambar 3. 21 Mengatur Inisialisasi Simulasi	53
Gambar 3. 22 Pengaturan Run Calculation Simulasi.....	54
Gambar 4. 1 Skema Perbedaan Kualitas Mesh Berdasarkan Penelitian Hong et al [38].....	23

Gambar 4. 2 Visualisasi Kontur Hasil Simulasi Aliran Fluida (Fine Mesh)	59
Gambar 4. 3 Visualisasi Kontur Hasil Distribusi Kecepatan Fluida Berdasarkan Penelitian Zhu et al [4]	60
Gambar 4. 4 Visualisasi Kontur Hasil Distribusi Kecepatan Fluida Berdasarkan Penelitian Biglari et al [39]	61
Gambar 4. 5 Grafik Kecepatan Fluida Sebelum Elbow #1 (Fine Mesh)	62
Gambar 4. 6 Grafik Kecepatan Fluida di antara Elbow #1 dan Elbow #2 (Fine Mesh)	62
Gambar 4. 7 Grafik Kecepatan Fluida Setelah Elbow #2 (Fine Mesh)	63
Gambar 4. 8 Hasil Simulasi Erosi Fine Mesh Menggunakan DPM (Sumbu X)...	64
Gambar 4. 9 Hasil Simulasi Erosi Fine Mesh Menggunakan DPM (Sumbu Y)...	64
Gambar 4. 10 Visualisasi Kontur Hasil Simulasi Aliran Fluida (Medium Mesh) ..	65
Gambar 4. 11 Grafik Kecepatan Fluida Sebelum Elbow #1 (Medium Mesh)	66
Gambar 4. 12 Grafik Kecepatan Fluida di antara Elbow #1 dan Elbow #2 (Medium Mesh)	67
Gambar 4. 13 Grafik Kecepatan Fluida Setelah Elbow #2 (Medium Mesh)	67
Gambar 4. 14 Hasil Simulasi Erosi Medium Mesh Menggunakan DPM (Sumbu X)	68
Gambar 4. 15 Hasil Simulasi Erosi Medium Mesh Menggunakan DPM (Sumbu Y)	69
Gambar 4. 16 Visualisasi Kontur Hasil Simulasi Aliran Fluida (Coarse Mesh) ...	70
Gambar 4. 17 Grafik Kecepatan Fluida Sebelum Elbow #1 (Coarse Mesh)	71
Gambar 4. 18 Grafik Kecepatan Fluida di antara Elbow #1 dan Elbow #2 (Coarse Mesh)	71
Gambar 4. 19 Grafik Kecepatan Fluida Setelah Elbow #2 (Coarse Mesh)	72
Gambar 4. 20 Hasil Simulasi Erosi Medium Mesh Menggunakan DPM (Sumbu X)	73
Gambar 4. 21 Hasil Simulasi Erosi Coarse Mesh Menggunakan DPM (Sumbu Y)	73
Gambar 4. 22 Hasil Eksperimen dari Jurnal Ilmiah [2]	78
Gambar 4. 23 Visualisasi Kontur Hasil Simulasi Erosi dengan Volume Fraksi 5% (Sumbu X)	79

Gambar 4. 24 Visualisasi Kontur Hasil Simulasi Erosi dengan Volume Fraksi 5% (Sumbu Y).....	80
Gambar 4. 25 Grafik Laju Erosi dengan Volume Fraksi 5% pada Elbow #1	81
Gambar 4. 26 Grafik Laju Erosi dengan Volume Fraksi 5% pada Elbow #1 dan Elbow #2	82
Gambar 4. 27 Visualisasi Kontur Hasil Simulasi dengan Volume Fraksi 7% (Sumbu X).....	84
Gambar 4. 28 Visualisasi Kontur Hasil Simulasi dengan Volume Fraksi 7% (Sumbu Y).....	84
Gambar 4. 29 Grafik Laju Erosi dengan Volume Fraksi 7% pada Elbow #1	85
Gambar 4. 30 Grafik Laju Erosi dengan Volume Fraksi 7% pada Elbow #1 dan Elbow #2	86
Gambar 4. 31 Visualisasi Kontur Hasil Simulasi dengan Volume Fraksi 9% (Sumbu X).....	88
Gambar 4. 32 Visualisasi Kontur Hasil Simulasi dengan Volume Fraksi 9% (Sumbu Y).....	88
Gambar 4. 33 Grafik Laju Erosi dengan Volume Fraksi 9% pada Elbow #1	89
Gambar 4. 34 Grafik Laju Erosi dengan Volume Fraksi 9% pada Elbow #1 dan Elbow #2	90
Gambar 4. 35 Visualisasi Hasil Simulasi dari Variasi Volume Fraksi pada Elbow #1	92
Gambar 4. 36 Visualisasi Hasil Simulasi dari Variasi Volume Fraksi pada Elbow #2	92
Gambar 4. 37 Hubungan Volume Fraksi terhadap Laju Erosi Maksimum	93
Gambar 4. 38 Desain Elbow Alternatif	99
Gambar 4. 39 Visualisasi Kontur Hasil Simulasi dengan Desain Elbow Alternatif (Sumbu X).....	100
Gambar 4. 40 Visualisasi Kontur Hasil Simulasi dengan Desain Elbow Alternatif (Sumbu Y).....	100