

**ANALISIS DESIGN KEKUATAN SAMBUNGAN PIPA VERTIKAL  
MENGUNAKAN FLANGE MODIFIKASI PADA INSTALASI PIPA POMPA  
SUMUR DALAM**



UNIVERSITAS  
CRISTOVEL LUMBANTORUAN  
NIM: 41322120011  
MERCU BUANA

PROGTAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA 2024

**LAPORAN TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS DESIGN KEKUATAN SAMBUNGAN PIPA VERTIKAL**  
**MENGGUNAKAN FLANGE MODIFIKASI PADA INSTALASI PIPA POMPA**  
**SUMUR DALAM**



Disusun oleh:

Nama : Cristovel Lumbantoruan

NIM : 41322120011

Program Studi : Teknik Mesin

**DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH**  
**TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)**  
**JANUARI 2025**

## HALAMAN PENGESAHAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Cristovel Lumbantoruan

NIM : 41322120011

Jurusan : Teknik Mesin

Judul Tugas Akhir : Analisis Design Kekuatan Sambungan Pipa Vertikal  
Menggunakan *Flange* Modifikasi Pada Instalasi Pipa Pompa  
Sumur Dalam

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata I pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Disahkan Oleh:

Pembimbing : Nurato, ST.,MT., Ph.D

NIDN : 0313047302

Penguji I : Henri Carles, ST., MT

NIDN : 218730105

Penguji II : Muhamad Fitri, M.Si, Ph.D

NIDN : 118690617

()  
( 25/1/25)  
()

UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

Jakarta, 24 Januari 2025

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Zulfa Fitri Ikartinasari, M.T.

Ketua Program Studi



Dr. Eng. Imam Hidayat, S.T., M.T.

## HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Cristovel Lumbantoruan

NIM : 41322120011

Jurusan : Teknik Mesin

Judul Tugas Akhir : Analisis Design Kekuatan Sambungan Pipa Vertikal  
Menggunakan *Flange* Modifikasi Pada Instalasi Pipa Pompa  
Sumur Dalam

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan

Jakarta, 24 Januari 2025



(Cristovel Lumbantoruan)

## KATA PENGANTAR

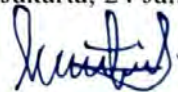
Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih karunia dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tugas sarjana yang berjudul "*Analisis Design Kekuatan Sambungan Pipa Vertikal Menggunakan Flange Modifikasi Pada Instalasi Pipa Pompa Sumur Dalam*" dengan baik sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata I (SI) Teknik Mesin.

Tugas akhir ini tidak akan terwujud tanpa bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng, selaku rektor Universitas Mercubuana Jakarta.
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercubuana Jakarta.
3. Dr.Eng. Imam Hidayat, M.T., selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin.
4. Dr. Nurato, ST.,MT., Ph.D., selaku Sekretaris Program Studi dan Koordinator Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Mercu Buana, sekaligus sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dalam penyusunan proposal tugas akhir ini.
5. Kedua orang tua saya atas doa, dukungan, dan kasih sayangnya yang tidak pernah putus.
6. Teman-teman Teknik Mesin Universitas Mercu Buana yang telah memberikan semangat, pengalaman, dan masukan selama penyusunan tugas akhir ini.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati, penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan bagi penulis khususnya. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan karya ini.

Jakarta, 24 Januari 2025



Cristovel Lumbantoruan

41322120011

## ABSTRAK

Desain dan instalasi perpipaan pompa sumur dalam memerlukan perhitungan teknis yang akurat untuk memastikan keamanan dan efisiensi operasional. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi desain riser pipa, kekuatan flange, dan sambungan las pada instalasi pompa dengan tekanan discharge 32,5 bar. Evaluasi dilakukan berdasarkan standar *ASME B31.3* dan *ASME B16.5*, serta simulasi menggunakan *Finite Element Analysis (FEA)* untuk memverifikasi keandalan desain. Hasil analisis menunjukkan bahwa pipa diameter 3" dengan ketebalan schedule 40 mampu menahan tekanan operasi. Modifikasi flange dari ukuran 2" ke diameter dalam 90 mm menghasilkan tegangan 7,583 N/mm<sup>2</sup>, jauh di bawah tegangan tarik izin material *ASTM A105* sebesar 155,132 N/mm<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa material flange aman digunakan untuk tekanan operasional tersebut. Tegangan pada sambungan las fillet akibat gaya normal dan tekanan internal juga memenuhi standar elektroda AWS A5.1 E7016. Tegangan maksimum yang terjadi sebesar 163,315 N/mm<sup>2</sup> masih jauh di bawah tegangan izin material 482,633 N/mm<sup>2</sup>. Untuk memastikan kekuatan sambungan, ukuran minimum fillet las yang diperlukan adalah 6 mm. Hasil simulasi *FEA* menunjukkan distribusi tegangan yang merata tanpa konsentrasi tegangan berlebih pada flange dan sambungan las. Desain ini terbukti mampu menahan beban operasional secara aman dan andal, sehingga memenuhi standar keamanan dan keandalan untuk penggunaan jangka panjang pada instalasi pompa sumur dalam.

**Kata Kunci:** *Flange* Modifikasi, *ASME*, perhitungan kekuatan, *FEA*



UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

## **DESIGN ANALYSIS OF VERTICAL PIPE CONNECTION STRENGTH USING MODIFIED FLANGE IN DEEP WELL PUMP PIPE INSTALLATION**

### **ABSTRACT**

*The design and installation of deep well pump piping requires accurate technical calculations to ensure safety and operational efficiency. This study aims to evaluate the pipe riser design, flange strength, and weld joints in a pump installation with a discharge pressure of 32.5 bar. The evaluation was conducted based on ASME B31.3 and ASME B16.5 standards, and simulations using Finite Element Analysis (FEA) to verify the design reliability. The analysis results show that the 3" diameter pipe with schedule 40 thickness is able to withstand the operating pressure. Flange modification from 2" to 90 mm inner diameter resulted in a stress of 7.583 N/mm<sup>2</sup>, well below the ASTM A105 material allowable tensile stress of 155.132 N/mm<sup>2</sup>. This indicates that the flange material is safe to use for these operational pressures. The stresses in the fillet weld joints due to normal force and internal pressure also meet the AWS A5.1 E7016 electrode standard. The maximum stress of 163.315 N/mm<sup>2</sup> is still far below the material allowable stress of 482.633 N/mm<sup>2</sup>. To ensure the strength of the joint, the minimum weld fillet size required is 6 mm. The FEA simulation results show an even stress distribution without excessive stress concentration at the flange and weld joints. This design is proven to be able to safely and reliably withstand operational loads, thus meeting safety and reliability standards for long-term use in deep well pump installations.*

**Keywords:** *Modified Flange, ASME, strength calculation, FEA*

UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABLE</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR RUMUS</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4. BATASAN MASALAH	3
1.5. MANFAAT PENELITIAN	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	4
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b>	<b>6</b>
2.1 REVIEW PENELITIAN TERDAHULU	6
2.2 SISTEM PERPIPAAN	7
2.2.1 Piping	8
2.2.2 Pipeline	8
2.3 KOMPONEN SISTEM PERPIPAAN	9



2.3.3 Support pada pepipaan	10
2.3.4 Jarak Penyangga pipa	11
2.3.5 Sambungan (Fitting)	12
2.4 JENIS-JENIS BEBAN PADA SISTEM PERPIPAAN	12
2.4.1 Beban Internal	12
2.4.2 Beban eksternal	12
2.5. MATERIAL PIPA	13
2.6 TEGANGAN PADA SISTEM PEMIPAAN	15
2.6.1 Tegangan Longitudinal (Longitudinal stress)	16
2.6.2 Tegangan Tangensial (hoop stress)	18
2.6.3 Tegangan Radial (Radial Stress)	18
2.7 KETEBALAN PIPA (WALL THICKNESS)	20
2.8 RUMUS-RUMUS YANG DIGUNAKAN	21
2.8.1 Sustained loads	21
2.8.2 <i>Expansion</i> Loads	21
2.9 <i>FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA)</i>	23
2.9.1 Pra-pemrosesan	24
2.9.2 Pemrosesan	24
2.9.3 Pasca-pemrosesan	24
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>25</b>
3.1 DIAGRAM ALUR PENELITIAN	25
3.2 STUDI LITERATUR	26
3.3 PENGUMPULAN DATA	27
3.2.1 Pengamatan	27
3.2.2. Wawancara berstruktur	28
3.4 STANDAR DAN KODE YANG DIGUNAKAN	28

3.5 ANALISIS DESIGN	29
3.5.5 Sketsa <i>Drawing</i>	29
3.5.5 Perhitungan Kekuatan	29
3.6 ANALISIS HASIL	33
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>35</b>
4.1. DESIGN	35
4.2. <i>DRAWING</i>	36
4.3. PERHITUNGAN PIPA	36
4.3.1 Perhitungan Minimum Ketebalan Pipa	37
4.3.2. Perhitungan Minimum Schedule Pipa	37
4.4. PERHITUNGAN KEKUATAN <i>FLANGE</i> 2" YANG DIMODIFIKASI	38
4.4.1. Perhitungan Kekuatan <i>Flange</i> 2" yang dimodifikasi	38
4.4.2. Perhitungan Tegangan Akibat Data Berat Pada <i>Flange</i> Dimodifikasi	41
4.4.3. Tegangan Rata – Rata Baut Pada <i>Flange</i> 2"	42
4.4.4. Tegangan Geser Puntir Minimum Dari Baut	43
4.4.5. Tegangan Utama Maksimum Memisahkan <i>Flange</i> 2" Dimodifikasi	43
4.4.6. Ukuran Minimum Dari Las Fillet Untuk Pipa Dan Sambungan <i>Flange</i> Modifikasi 2" Karena Tekanan Internal	44
4.4.7. Ukuran Minimum Las Fillet untuk Pipa Akibat Gaya Normal	45
4.4.8. Tegangan Untuk Pengelasan Fillet Pada <i>Flange</i> Slip On	45
4.5. PERHITUNGAN KEKUATAN <i>FLANGE</i> 8" UNTUK PENUTUP SUMUR	47
4.5.1. Luas Permukaan Plate Pondasi Yang Menggunakan <i>Flange</i> 8"	47
4.5.2 Perhitungan Ketebalan <i>flange</i> 8"	48
4.5.3. Perhitungan Ketebalan <i>flange</i> 8"	49
4.5.4 Jumlah Baut Minimum <i>Flange</i> 8"	49
4.6. SIMULASI KEKUATAN MENGGUNAKAN SOLIDWORKS	49
4.6.1. <i>Max von Mises Stress</i>	49

4.6.2. <i>Resultant Displacement</i>	50
4.6.3. <i>Equivalent strain</i>	50
4.6.4. Kesimpulan	51
4.7. LANGKAH MITIGASI MENGANTISIPASI KEGAGALAN	51
4.7.1. Inspeksi dan Pengujian Berkala	51
4.7.2. Pemantauan Tekanan dan Suhu Operasional	52
4.7.3. Pemeriksaan dan Pemeliharaan Sambungan Baut	52
4.7.4. Pencegahan Korosi	52
4.7.5. Pemantauan Vibrasi	52
4.7.6. Dokumentasi dan Pemeliharaan Terencana	53
<b>BAB V PENUTUP</b>	<b>53</b>
5.1 KESIMPULAN	53
5.2. SARAN	53
DAFTAR PUSTAKA	55
<b>LAMPIRAN</b>	<b>57</b>
LAMPIRAN A. GAMBAR <i>FLANGE</i> 2" SEBELUM & SESUDAH MODIFIKASI	58
LAMPIRAN B. GAMBAR DETAIL <i>FLANGE</i> YANG SUDAH DIMODIFIKASI	59
LAMPIRAN C. <i>GENERAL ASSEMBLY</i> PEMASANGAN PIPA	60
LAMPIRAN D. <i>FINITE ELEMENT REPORT</i>	61
LAMPIRAN E. <i>PUMP PERFORMANCE CURVE</i>	84

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Piping System</i> (Sumber:Pipingpipeline.Com)	7
Gambar 2. 2 <i>Pipeline</i> (Sumber: Pipingpipeline.Com)	8
Gambar 2. 3 <i>Pipes</i> (Sumber: Petroleumsolutionsgroup.Com, 2021)	9
Gambar 2. 4 <i>Flange</i> (Sumber: Candy Edward, 2019)	10
Gambar 2. 5 <i>Support Pipa</i> (Sumber:Www.Cnzahid.Com,2021)	10
Gambar 2. 6 <i>Fitting</i> (Sumber: Www.Alvindocs.Com, 2024)	11
Gambar 2. 7 <i>Diagram Tegangan-Regangan Baja Lunak dan Tegangan</i>	15
Gambar 2. 8 <i>Tegangan Aksial pada Pipa</i> (Sumber: Arif Maulana, 2016)	16
Gambar 2. 9 <i>Tegangan Longitudinal pada Pipa</i> (Sumber: Arif Maulana, 2016)	17
Gambar 2. 10 <i>Tegangan Tangensial / Keliling</i> (Sumber: Arif Maulana, 2016)	18
Gambar 2. 11 <i>Tegangan Radial (Radial Stress)</i> (Sumber: Husen Ahmad, 2013)	19
Gambar 3. 1 <i>Diagram Alur Penelitian</i>	27
Gambar 3. 2 <i>Pengamatan di Lapangan</i> (Sumber: Pertamina Lawe – Lawe, 2024)	27
Gambar 3. 3 <i>Wawancara di Lapangan</i> (Sumber: Pertamina Lawe – Lawe, 2024)	28
Gambar 4. 1 <i>GA Pipe Riser of Deep Well Pump</i> (Sumber: Autocad 2022)	36
Gambar 4. 2 <i>Water Report Analysis</i> (Sumber : Pertamina Lawe – Lawe, 2024)	39
Gambar 4. 3 <i>Flange Sebelum &amp; Sesudah dimachining</i> (Sumber : Autocad 2022) ...	42
Gambar 4. 4 <i>Tampilan Diperbesar Las Fillet</i> (Sumber: A Textbook Of Machine)	46
Gambar 4. 5 <i>Flange 8” Penutup Sumur</i> (Sumber: Autocad 2022)	47
Gambar 4. 6 <i>Von Mises Stress</i> (Sumber; Solidworks Simulation, 2022)	50
Gambar 4. 7 <i>Resultant Displacement</i> (Sumber; Solidworks Simulation, 2022)	50
Gambar 4. 8 <i>Equivalent Strain</i> (Sumber; Solidworks Simulation, 2022)	51

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Review</i> Penelitian Terdahulu	5
Tabel 2. 2 Material Perpipaan dan Aplikasinya (Sumber: 123dok.Com, 2021)	13
Tabel 2. 3 Material Perpipaan yang Umum Digunakan	14
Tabel 2. 4 Standard <i>Schedule Pipe</i> (Sumber: <i>ASME</i> 31.3, 2018)	20
Tabel 3. 1 <i>Flange Class Material as per ASME 16.5 Material Group 1.1</i>	30
Tabel 4. 1 Spesifikasi Pipa (Sumber: <i>ASME</i> B36.1, 2015)	35
Tabel 4. 2 Tabel Ukuran Dan Berat (Sumber: <i>ASME</i> 36.10)	38
Tabel 4. 3 <i>Working Pressures Classes</i> (Sumber : <i>ASME</i> 16.5 Material Group 1.1	39
Tabel 4. 4 Berat Komponen Instalasi Pompa Sumur Dalam di Bawah Permukaan Tanah	40
Tabel 4. 5 Berat Total Komponen Instalasi Pompa Sumur Dalam di Atas Permukaan Tanah	41



## DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1 Jarak Penyangga	11
Rumus 2.2 Tegangan Aksial	17
Rumus 2.3 Gaya Aksial	17
Rumus 2.4 Luas Permukaan Pipa	17
Rumus 2.5 Tegangan Internal Dalam Pipa	17
Rumus 2.6 Tegangan Tekuk	18
Rumus 2.7 Ketebalan Dinding Pipa	21
Rumus 2.8 Ketebalan Minimum Pipa	21
Rumus 2.9 Koefisien untuk Mencari Ketebalan Pipa	21
Rumus 2.10 Tegangan Maksimum Sustained Loads	21
Rumus 2.11 Perubahan Panjang Pipa	22
Rumus 2.12 Tegangan Ekspansi Akibat Ekspansi Termal	22
Rumus 2.13 Perubahan Panjang Pipa	22
Rumus 2.14 Batas Tegangan Maksimum	22
Rumus 2.15 Persamaan Sistem dengan Matriks Kekakuan	24
Rumus 3.1 Rumus Ketebalan Pipa Lurus Berdasarkan <i>ASME B31.3</i>	29
Rumus 3.2 Schedule Number Berdasarkan <i>ASME B31.3</i> .	29
Rumus 3.3 Berat Air	30
Rumus 3.4 Gaya Normal	31
Rumus 3.5 Tegangan pada <i>Flange</i>	31
Rumus 4.1 Minimum Ketebalan Pipa (Sumber <i>ASME B 31.3, 2018</i> )	38
Rumus 4.2 Minimum Schedule Pipa (Sumber <i>ASME B 31.3, 2018</i> )	38
Rumus 4.3 Volume Air	41
Rumus 4.4 Rumus Berat Kondisi Fluida Kondisi Tetap	41
Rumus 4.5 Gaya di Bawah Tanah	42
Rumus 4.6 Tegangan pada <i>Flange</i> Dimodifikasi	44
Rumus 4.7 Tegangan Geser Puntir Minimum	45
Rumus 4.8 Tegangan Utama Maksimum yang Memisahkan <i>Flange 2"</i>	45
Rumus 4.9 Tekanan Flow	47
Rumus 4.10 Minimum Ukuran Pengelasan <i>Fillet</i> pada Pipa	47

Rumus 4.11 Ukuran Minimum dari Las <i>Fillet</i> untuk Sambungan <i>Flange</i> Ukuran	47
Rumus 4.12 Minimum Size dari <i>Fillet</i> Pengelasan <i>for Pipa Joint</i>	47
Rumus 4.13 Ukuran Minimum dari Las <i>Fillet</i> untuk Sambungan <i>Flange</i>	48
Rumus 4.14 Luas Pengelasan	49
Rumus 4.15 Tekanan dari Las <i>Fillet</i> Akibat Gaya Internal	49
Rumus 4.16 Luas Permukaan Plate Pondasi yang Menggunakan <i>Flange 8"</i>	50
Rumus 4.17 Tegangan Normal yang Terjadi pada <i>Flange 8"</i>	51
Rumus 4.18 Perhitungan Ketebalan <i>Flange 8"</i>	51
Rumus 4.19 Perhitungan Minimum Nominal Diameter Baut	52
Rumus 4.20 Jumlah Baut Minimum <i>Flange 8"</i>	52



UNIVERSITAS  
MERCU BUANA