

**ANALISIS PEMILIHAN MATERIAL SALURAN PIPA BERDASARKAN
ASPEK POTENSI KOROSI CO₂ MENGGUNAKAN PEMODELAN
NORSOK M-506 DAN SIMULASI PEMBEBANAN PIPA**



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

NURROHMAH AKMALIA
NIM: 41322120043

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2024

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS PEMILIHAN MATERIAL SALURAN PIPA BERDASARKAN ASPEK POTENSI KOROSI CO₂ MENGGUNAKAN PEMODELAN NORSOK M-506 DAN SIMULASI PEMBEBANAN PIPA



Disusun Oleh:

Nama : Nurrohmah Akmalia
NIM : 41322120043
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)
NOVEMBER 2024

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Nurrohmah Akmalia

NIM : 41322120043

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Laporan Skripsi : Analisis Pemilihan Material Saluran Pipa Berdasarkan Aspek Potensi Korosi CO₂ Menggunakan Pemodelan NORSOK M-506 dan Simulasi Pembebanan Pipa

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

Disahkan oleh:

Ketua Penguji : Sagir Alva, S.Si., M.Sc., Ph.D.

NIDN : 0313037707

Anggota Penguji 1 : Alfian Noviyanto, Ph.D.

NIDN : 0319117906

Anggota Penguji 2 : Dra. I Gusti Ayu Arwati, M.T., Ph.D.

NIDN : 0010046408

Jakarta, 21 Desember 2024

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.

NIDN : 0307037202

Ketua Program Studi



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

NIDN : 005087502

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Nurrohmah Akmalia
NIM : 41322120043
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul Tugas Akhir : Analisis Pemilihan Material Saluran Pipa Berdasarkan Aspek Potensi Korosi CO₂ Menggunakan Pemodelan NORSOK M-506 dan Simulasi Pembebanan Pipa

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 hasil 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 dan tanpa paksaan.

Jakarta, 21 Desember 2024



(Nurrohmah Akmalia)

HALAMAN PENGHARGAAN

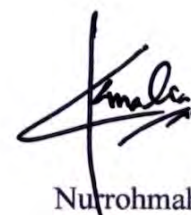
Dengan penuh rasa syukur, penulis mengungkapkan terima kasih kepada Allah SWT atas rahmat, karunia, dan petunjuk-Nya sehingga penulis berhasil menyelesaikan skripsi dengan judul **“Analisis Pemilihan Material Saluran Pipa Berdasarkan Aspek Potensi Korosi CO₂ Menggunakan Pemodelan NORSOK M-506 dan Simulasi Pembebanan Pipa”** sebagai persyaratan untuk dapat menyelesaikan jenjang pendidikan Program Sarjana 1 pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Mercu Buana Jakarta.

Dalam proses penyusunan naskah skripsi ini, penulis telah mendapat bantuan, bimbingan, doa serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.
2. Bapak Dr. Eng. Imam Hidayat, ST., M.T., selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana.
3. Ibu Dra. I Gusti Ayu Arwati, M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
4. Keluarga, sahabat, rekan dan kerabat dekat lain yang selalu menemani, mendoakan dan mendukung penulis selama menjalani seluruh proses perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa pada naskah skripsi ini masih terdapat beberapa kekurangan. Oleh karena itu, penulis terbuka atas segala kritik dan saran yang membangun guna meningkatkan perkembangan penelitian pada skripsi ini. Penulis telah berusaha sebaik mungkin untuk memenuhi tujuan penelitian pada skripsi ini dan berharap agar keseluruhan isi dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang terlibat.

Jakarta, 21 Desember 2024



Nurrohmah Akmalia

ABSTRAK

Dunia industri memerlukan adanya saluran pipa sebagai media penyaluran bahan, salah satunya adalah saluran pipa gas yang mengandung karbon dioksida (CO₂). Kandungan CO₂ dapat menimbulkan sifat korosif pada material sehingga berpotensi untuk merusak atau bahkan mengakibatkan kebocoran pipa. Secara umum, saluran pemipaan juga memiliki permasalahan terkait besarnya tegangan akibat pembebanan pada pipa dari adanya aliran gas dalam jumlah dan intensitas tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis material yang tepat untuk mengatasi kedua permasalahan tersebut dengan melibatkan *Carbon Steel* (CS), *Stainless Steel* (SS), dan *Duplex Stainless Steel* (DSS) sebagai material yang paling umum digunakan dalam pembuatan saluran pemipaan. Analisis aspek korosi didasarkan pada nilai *Corrosion Allowance* (CA) yang dihitung dari nilai *Corrosion Rate* (CR) dengan mengacu pada standar NORSOK M-506 dan kandungan *Chloride* (Cl). Kemudian dilakukan analisis aspek tegangan pembebanan pipa dengan *Finite Element Method* (FEM). Melalui analisis aspek korosi, didapatkan hasil CR sebesar 1.4 mmpy, nilai CA sebesar 28 mm, dan nilai Cl sebesar 13000 ppm, yang mana ketiga data ini merujuk kepada kategori rekomendasi material SS. Kemudian melalui analisis tegangan pembebanan, untuk pipa dengan material SS mengalami *equivalent stress* maksimum sebesar 1.5560×10^9 Pa yang memiliki nilai paling kecil di antara ketiga material yang dianalisis yaitu 1.5711×10^9 Pa untuk CS dan 1.5716×10^9 Pa untuk DSS. Hasil analisis dari kedua aspek menunjukkan bahwa penggunaan material SS merupakan pilihan terbaik untuk kondisi data yang digunakan dalam penelitian ini karena memiliki ketahanan yang lebih unggul baik dari segi aspek korosi CO₂ dan tegangan pembebanan pada pipa.

Kata Kunci: Pemilihan Material, Saluran Pipa Gas, Korosi CO₂, Tegangan Pipa.

PIPELINE MATERIAL SELECTION: ANALYSIS OF CO₂ CORROSION USING NORSOK M-506 & PIPE STRESS SIMULATION

ABSTRACT

Industrial fields need pipelines for distributing its production materials, and one of which is gas containing carbon dioxide (CO₂) that can cause corrosion and would damaging or even causing pipe leaks. A pipelines also have problems related to the big amount of stresses due to the gas flowed in certain quantities and intensity. This research aims to analyze what's the better material to overcome these problems by involving Carbon Steel (CS), Stainless Steel (SS), and Duplex Stainless Steel (DSS) as a commonly used materials for gas pipeline. Analysis of the corrosion aspect was carried out based on a Corrosion Allowance (CA) value which calculate by the value of Corrosion Rate (CR) that referring to NORSOK M-506 standard, also analyze the amount of Chloride (Cl). Analysis of pipe stress was carried out using the Finite Element Method (FEM). In the analysis of corrosion, the result of CR calculation value is 1.4 mmpy, the CA was 28 mm, and the Cl was 13,000 ppm, where these three data refer to the SS material recommendation category. In pipe stress analysis, pipes with SS material experience a smallest maximum equivalent stress of 1.5560×10^9 Pa among the three materials analyzed; 1.5711×10^9 Pa for CS and 1.5716×10^9 Pa for DSS. The analysis results showing that the use of SS material is the best choice for the conditions data used on this research for both in potential of CO₂ corrosion and experienced loading stress on the pipe.

Keyword: Material Selection, Gas Pipeline, CO₂ Corrosion, Pipe Stress.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
HALAMAN PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR SIMBOL	xi
DAFTAR SINGKATAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Konsep dan Teori	6
2.2. Penelitian Terdahulu	7
2.3. Pipa Transmisi Gas	8
2.3.1. Pipa	9
2.3.2. <i>Valve</i>	9
2.3.3. <i>Valve Box</i>	10
2.3.4. <i>Pressure Regulator</i>	10
2.3.5. <i>Flow Meter</i>	10
2.3.6. <i>Fittings</i>	10
2.4. Kode dan Standar Acuan	11
2.5. Korosi	12
2.5.1. Definisi	12

2.5.2.	Jenis-jenis Korosi	12
2.6.	Potensi Ancaman Korosi	17
2.6.1.	Potensi Korosi Akibat Karbon Dioksida (CO ₂).....	17
2.6.2.	Potensi Korosi Akibat Hidrogen Sulfida (H ₂ S).....	18
2.6.3.	Potensi Korosi Akibat Oksigen (O ₂)	19
2.7.	<i>Corrosion Allowance</i> (CA).....	19
2.8.	<i>Corrosion Rate</i>	20
2.9.	Analisis <i>Corrosion Rate</i>	20
2.10.	Material.....	21
2.11.	Tegangan Pipa	22
2.11.1.	Komponen Tegangan Normal	22
2.11.2.	Komponen Tegangan Geser	23
2.12.	Analisis Tegangan Pipa	23
2.13.	Anslys Engineering	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		25
3.1.	Metode Penelitian	25
3.2.	Metode Analisis Data	27
3.2.1.	Aspek Korosi	27
3.2.2.	Aspek Tegangan Pembebanan Pipa.....	30
3.3.	Data Penelitian.....	33
3.3.1.	Komposisi Fluida.....	33
3.3.2.	Desain <i>Pipeline</i>	33
3.3.3.	Spesifikasi Material	35
3.4.	Alat dan Bahan	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		38
4.1.	Analisis Data Aspek Korosi.....	38
4.1.1.	Analisis <i>Corrosion Rate</i>	38
4.1.2.	Analisis <i>Corrosion Allowance</i>	44
4.1.3.	Analisis <i>Chloride</i>	45
4.2.	Analisis Data Aspek Tegangan Pembebanan Pipa	46
4.3.	Analisis Pemilihan Material	48

BAB V PENUTUP	50
5.1. Kesimpulan	50
5.2. Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Uniform Corrosion	13
Gambar 2.2. Pitting Corrosion	13
Gambar 2.3. Errosion Corrosion	14
Gambar 2.4. Galvanic Corrosion	14
Gambar 2.5. Stress Corrosion	15
Gambar 2.6. Crevice Corrosion	16
Gambar 2.7. Microbiologically Influenced Corrosion	16
Gambar 2.8. Fatigue Corrosion	17
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2. NORSOK M-506 Main Menu	27
Gambar 3.3. NORSOK M-506 Flow Menu	28
Gambar 3.4. NORSOK M-506 pH Menu	28
Gambar 3.5. Ansys Engineering Workbench – Static Structural Menu.....	31
Gambar 3.6. Ansys Engineering Workbench – Static Structural : Design Modeler Menu	31
Gambar 3.7. Ansys Engineering Workbench – Static Structural : Mechanical Enterprise Menu.....	32
Gambar 4.1. Perhitungan Menggunakan Pemodelan NORSOK M-506.....	38
Gambar 4.2. Hasil Analisis Tegangan Pipa Material Carbon Steel	46
Gambar 4.3. Hasil Analisis Tegangan Pipa Material Stainless Steel.....	46
Gambar 4.4. Hasil Analisis Tegangan Pipa Material Duplex Stainless Steel.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tinjauan Penelitian Terdahulu	7
Tabel 2.2. Standar Acuan Saluran Perpipaan	11
Tabel 2.3. Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Nilai Corrosion Rate	20
Tabel 2.4. Pertimbangan Material	22
Tabel 2.5. Standar Acuan Analisis Tegangan Pipa	24
Tabel 3.1. Tabel Nilai Konstanta K_t	29
Tabel 3.2. Tabel Fungsi pH	29
Tabel 3.3. Analisis Pemilihan Material Berdasarkan Nilai CA	30
Tabel 3.4. Analisis Pemilihan Material Berdasarkan Nilai CI	30
Tabel 3.5. Komposisi Fluida	33
Tabel 3.6. Basic Input Parameter NORSOK M-506	34
Tabel 3.7. Parameter Desain Pipeline	35
Tabel 3.8. Spesifikasi Material	36
Tabel 3.9. Alat dan Bahan	37
Tabel 4.1. Tabel Hasil Perhitungan dari Pemodelan NORSOK M-506	39
Tabel 4.2. Interpolasi Linear Nilai Konstanta K_t	40
Tabel 4.3. Interpolasi Linear Nilai Fungsi pH	41
Tabel 4.4. Perbandingan Hasil Perhitungan Pemodelan dan Manual	44
Tabel 4.5. Data Hasil Analisis Tegangan Pipa	47
Tabel 4.6. Rekomendasi Material Berdasarkan Aspek Korosi	48
Tabel 4.7. Rekomendasi Material Berdasarkan Aspek Tegangan Pipa	49

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
CO ₂	<i>Carbon dioxide</i>
H ₂ CO ₃	<i>Carbonic acid</i>
H ₂ O	<i>Dihydrogen monoxide</i>
FeCO ₃	<i>Ferrous carbonate</i>
H ₂ S	<i>Hydrogen sulfide</i>
FeS	<i>Ferrous sulfide</i>
mm	<i>Milimeters</i>
ft/s	<i>Feet per second</i>
inci	<i>Inch</i>
°C	<i>Degree of celcius</i>
°F	<i>Degree of fahrenheit</i>
mpy	<i>Mils per year</i>
mmpy	<i>Milimeters per year</i>
µm/y	<i>Micrometers per year</i>
Nm/y	<i>Newton meters per year</i>
pm/sec	<i>Picometers per second</i>
log	<i>Logarithm, base 10</i>
P	<i>Pressure</i>
F	<i>Force</i>
A	<i>Surface area</i>
Pa	<i>Pascal</i>
S	<i>Wall shear stress</i>
f(pH) _t	<i>pH factor</i>
K _t	<i>Constant for the temperature t</i>
%mole	<i>Percentage of mole</i>
kmole/h	<i>Kilomole per hour</i>
bar	<i>Bar</i>
psi	<i>Pounds per square inch</i>
Weight%	<i>Weight percentage</i>

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
CA	<i>Corrosion Allowance</i>
CR	<i>Corrosion Rate</i>
DL	<i>Design Life</i>
NORSOK	<i>The standards developed by Norwegian Petroleum Industry</i>
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ISO	Internasional Organization for Standardization
SNI	Standar Nasional Indonesia
API	American Petroleum Institute
MIGAS	Minyak dan Gas Bumi
CS	<i>Carbon Steel</i>
CRA	<i>Corrosion-Resistant Alloy</i>
SS	<i>Stainless Steel</i>
DSS	<i>Duplex Stainless Steel</i>
pH	<i>Potential of Hydrogen</i> atau <i>Power of Hydrogen</i>
SSC	<i>Sulfide Stress Cracking</i>
FEM	<i>Finite Element Method</i>
SI	Standar Internasional

U N I V E R S I T A S
MERCU BUANA