

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>1</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>II</b>
<b>PERNYATAAN</b>	<b>III</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>	<b>IV</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>V</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>VII</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>X</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>XIV</b>
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b>	<b>XV</b>
<b>INTISARI</b>	<b>XVII</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>XVIII</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>7</b>
2.1 Analisis Defleksi Sistem Perpipaan	7
2.2 Referensi Penyangga Pipa	11
2.3 <i>Boundary condition</i> untuk konfigurasi struktur <i>overhang</i> & validasi model <i>finite element</i>	12

<b>BAB III DASAR TEORI</b>	<b>18</b>
3.1 Teori Sistem Perpipaan	18
3.1.1 Standarisasi dan Istilah Perpipaan Internasional	18
3.1.2 Jenis Pipa Berdasarkan Material	19
3.1.3 Rentang Pipa ( <i>Pipe Span</i> )	21
3.2 Teori Tegangan Pada Sistem Perpipaan	22
3.2.1 Tegangan <i>Hoop</i>	24
3.2.2 Tegangan Longitudinal	25
3.3 Teori Defleksi	28
3.3.1 Jenis-Jenis Tumpuan	29
3.3.2 Jenis-Jenis Pembebanan	30
3.3.3 Jenis-Jenis Batang	31
3.4 <i>Shear Force Diagram</i> ( SFD) dan <i>Bending Moment Diagram</i> (BMD)	32
3.5 <i>Governing Equation</i> Teori Defleksi	36
3.6 Metode Elemen Hingga	38
3.6.1 Konsep Metode Element Hingga	38
3.6.2 Diskritisasi	40
3.6.3 <i>Boundary Condition</i>	41
3.6.4 Konvergensi	42
3.6.5 <i>Post Processing</i>	42
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>43</b>
4.1 Diagram Alir Penelitian	44
4.2 Metode Penelitian	47
4.3 Data aktual pipa 18 inci spot 998,1 meter -1073,3 meter	48
4.4 Eksperimen Pipa PVC 1 inci	49
4.5 Simulasi model menggunakan <i>software</i> Abaqus	52
4.6 Metode validasi	55

<b>BAB V PEMBAHASAN DAN HASIL</b>	<b>56</b>
5.1 Analisis Tegangan Pipa Berdasarkan Parameter Temperatur dan Tekanan Operasi	56
5.2 Model Simulasi dan Eksperimen Pipa PVC 1 inci	59
5.3 Model Simulasi Defleksi Pipa 18 inci	61
5.3.1 Simulasi Defleksi dengan <i>Improvement Pipe Support</i> .	64
5.3.1.1 Simulasi Defleksi Pipa 18 Inchi dengan <i>Simply Pipe Support</i>	68
5.3.1.2 Simulasi Defleksi Pipa 18 Inchi dengan <i>Full Pipe Support</i>	69
5.3.2 Analisis Statika Struktur SFD dan BMD Pipa Spot 998 -1073 mtr	73
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>77</b>
6.1 Kesimpulan	77
6.2 Saran	78
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>79</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>81</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sketsa kontur pipa mengalami defleksi	3
Gambar 1.2 Pipa 18 inci dilapangan	3
Gambar 1.3 kondisi pipa dent di atas pipe support	4
Gambar 2.1 Konfigurasi dan simulasi pipa stainless steel 16 inci	7
Gambar 2.2 Simulasi buried pipa X65 steel yang mengalami defleksi	8
Gambar 2.3 Sketsa deformasi pipeline fault displacement	9
Gambar 2.4 Skematik diagram pipa dengan horizontal landslide	9
Gambar 2.5 Simulasi finite element C-beams overhang	12
Gambar 2.6 Posisi vertical stiffener pada I-Beams overhang	13
Gambar 2.7 Simulasi finite element I-beams overhang	13
Gambar 3.1 Diagram tegangan regangan material ulet (steel)	23
Gambar 3.2 Arah Hoop Stress Terhadap Potongan Melintang Pipa	25
Gambar 3.3 Balok di atas tumpuan sebelum dan sesudah deformasi	28
Gambar 3.4 Tumpuan engsel	30
Gambar 3.5 Tumpuan Rol	30
Gambar 3.6 Tumpuan Jepit	30
Gambar 3.7 Pembebanan Terpusat	31
Gambar 3.8 Pembebanan Merata	31
Gambar 3.9 Pembebanan Variasi Seragam	31
Gambar 3.10 Batang tumpuan sederhana	32
Gambar 3.11 Batang kantilever	32
Gambar 3.12 Batang <i>Overhang</i>	32
Gambar 3.13 Batang menerus	32
Gambar 3.14 Jenis penempatan balok pada tumpuan	33
Gambar 3.15 Distribusi beban pada balok	34
Gambar 3.16 <i>Bending beam element</i> yang berhubungan dengan kurva elastis	36
Gambar 3. 17 Geometri beam <i>bending</i>	37

Gambar 3.18 Diskretisasi Suatu Kontinum pada Metode Elemen Hingga	41
Gambar 4.1 Diagram alir metodologi penelitian	46
Gambar 4. 2 Sketsa posisi pipa 18 inci spot 998-1073 meter di lapangan	49
Gambar 4.3 Tampak samping konfigurasi percobaan defleksi pipa PVC 1 inci	50
Gambar 4.4 Tampak isometrik konfigurasi percobaan defleksi pipa PVC 1 inci	51
Gambar 4.5 pipa PVC pada simulasi Abaqus	52
Gambar 4. 6 Tampilan pipe support pada pipa PVC 1 inci	53
Gambar 4.7 Input data density	54
Gambar 4. 8 Input data modulus young dan poisson ratio	54
Gambar 5.1 Simulasi defleksi pipa pvc- penurunan pipa 250 mm di titik C	59
Gambar 5.2 Simulasi defleksi pipa pvc - penurunan pipa 500 mm di titik C	59
Gambar 5.3 Simulasi defleksi pipa pvc - penurunan pipa 750 mm di titik C	60
Gambar 5.4 Grafik defleksi titik A-B vs variasi penurunan pipa pada titik C	60
Gambar 5.5 simulasi defleksi pipa carbon steel 18”- penurunan titik C :1.2 m	61
Gambar 5.6 simulasi defleksi pipa carbon steel 18” – penurunan titik C: 1.5 m	62
Gambar 5.7 simulasi defleksi pipa carbon steel 18” - penurunan titik C : 1.8 m	62
Gambar 5.8 simulasi defleksi pipa carbon steel 18” – penurunan titik C :2 m	62
Gambar 5.9 Grafik defleksi pipa A-B vs penurunan pada ujung pipa titik C	63
Gambar 5.10 Foto pipa minyak dan pipa gas beserta pipe support	65
Gambar 5.11 Elevasi pipa gas mengikuti kontur jalan	66
Gambar 5.12 Pipa gas di atas support dengan tambahan saddle/sleeve	66
Gambar 5.13 Tipe pipe support yang digunakan pada penelitian	66
Gambar 5.14 Posisi pipa saat di atas kedua tipe pipe support	67
Gambar 5.15 Elemen pipe support	68
Gambar 5.16 Simulasi simply Support 1xD – penurunan pada titik C :1.2 m	68
Gambar 5.17 Simulasi simply Support 1,5xD - penurunan pada titik C :1.2 m	69
Gambar 5.18 Simulasi simply Support 2xD - penurunan di titik C :1.2 m	69
Gambar 5.19 Simulasi simply Support 3xD - penurunan di titik C :1.2 m	69
Gambar 5.20 Simulasi full Support 1xD - penurunan di titik C :1.2 m	70

Gambar 5.21 Simulasi full Support 1,5xD - penurunan di titik C :1.2 m	70
Gambar 5.22 Simulasi full Support 2xD - penurunan di titik C :1.2 m	70
Gambar 5.23 Simulasi full Support 3xD - penurunan di titik C :1.2 m	71
Gambar 5.24 Grafik defleksi maksimum variasi tipe support -penurunan pipa	71
Gambar 5. 25 Free body diagram pipa 18 inci dengan beban diujung overhang	73
Gambar 5.26 SFD & BMD pipa dengan beban pada ujung overhang ( titik c)	74
Gambar 5.27 Tampilan simulasi dengan pemberian beban di ujung overhang	74
Gambar 5.28 Konfigurasi pipa 18 inci - beban merata sepanjang pipa overhang	75
Gambar 5.29 Free body diagram - beban merata sepanjang pipa overhang	75
Gambar 5.30 Tampilan simulasi beban merata pada konfigurasi pipa overhang	76

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data desain pipa 18 inci	2
Tabel 1.2 Sampling data ILI (sumber data : hasil <i>inline inspection</i> pipa 18 inci)	2
Tabel 2.1 Jarak maksimum antar <i>support</i> (E.W. McAllister, 2002)	11
Tabel 2.2 Rangkuman Perkembangan Penelitian Defleksi pada Pipa dan Beam	14
Tabel 3.1 Jarak maksimum antar support berdasarkan ukuran pipa	21
Tabel 3.2 SFD & BMD untuk kombinasi jenis tumpuan dan beban	35
Tabel 4.1 Data aktual pipa 18 inci dilapangan	48
Tabel 4.2 Summary data aktual lapangan pipa 18 inci	48
Tabel 4.3 Data pipa PVC	49
Tabel 4.4 Data geometri dan posisi support pipa PVC	52
Tabel 4.5 Data propertis material PVC	53
Tabel 4.6 Referensi % error validasi defleksi pada <i>overhang</i> struktur	55
Tabel 5.1 Batas izin tegangan pipa sesuai ASME Code B31.4	57
Tabel 5.2 Parameter desain dan operasi pipa	57
Tabel 5.3 Besar tegangan dizinkan pipa API 5L Grade B berdasarkan	57
Tabel 5.4 Analisis Tegangan Sesuai Parameter Operasi	58
Tabel 5.5 Komparasi Hasil Analisis Tegangan	58
Tabel 5.6 Perbandingan hasil simulasi dan eksperimen pipa PVC	60
Tabel 5.7 Defleksi maksimum spot A-B terhadap variasi penurunan	63
Tabel 5.8 Posisi defleksi maksimum antara simulasi vs kondisi aktual	64
Tabel 5.9 Variasi Panjang kontak <i>pipe support</i> ke pipa (L)	67
Tabel 5.10 Hasil simulasi untuk tipe <i>simply support</i> dan <i>full support</i>	71
Tabel 5.11 Komparasi nilai defleksi dengan <i>improvement full support</i>	72

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	<i>Reverse engineering</i> Pipa 18 inci	81
Lampiran 2	<i>Datasheet</i> Pipa 18 inci	84
Lampiran 3	Sampling data <i>In-Line Inspection pipa 18 inci</i>	87
Lampiran 4	Data Pipa PVC	93