

SIDANG TUGAS AKHIR (P3)

Surabaya, 7 Agustus 2014

ANALISA MEKANISME UPHEVAL BUCKLING PADA OFFSHORE PIPELINE STUDI KASUS: PT. UNIVERSAL BATAM ENERGY (PT. UBE) DENGAN VARIABEL TANAH, TEMPERATUR, DAN TEKANAN

Oleh: Novrizal Putra Aulia (4310.100.046)

Dosen Pembimbing:

Ir. Imam Rochani M.Sc.
Ir. Handayanu, M.Sc, Ph.D.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

2014



LATAR BELAKANG

Kenapa *upheaval buckling*?

- *Upheaval buckling* adalah salah satu jenis global buckling yang mengalami pembengkokan atau lekukan kearah vertikal, *upheaval buckling* hanya terjadi pada *burried pipe*
- Pada proses desain sangat penting dilakukannya analisa *upheaval buckling* pada pipa tertanam, karena menurut Palmer dan Baldry (1974), dengan perbedaan temperatur saat instalasi dengan saat operasi, dan perbedaan tekanan internal dengan tekanan eksternal pada pipa dapat mengakibatkan gaya aksial yang besar dan mengakibatkan pipa melengkung keatas.
- Pipa yang dipasang didalam laut harus ditanam untuk mencegah kegagalan pipa akibat kejatuhan benda, dan terkena jangkar. Dengan menimbun pipa, maka tekanan pada pipa semakin bertambah.

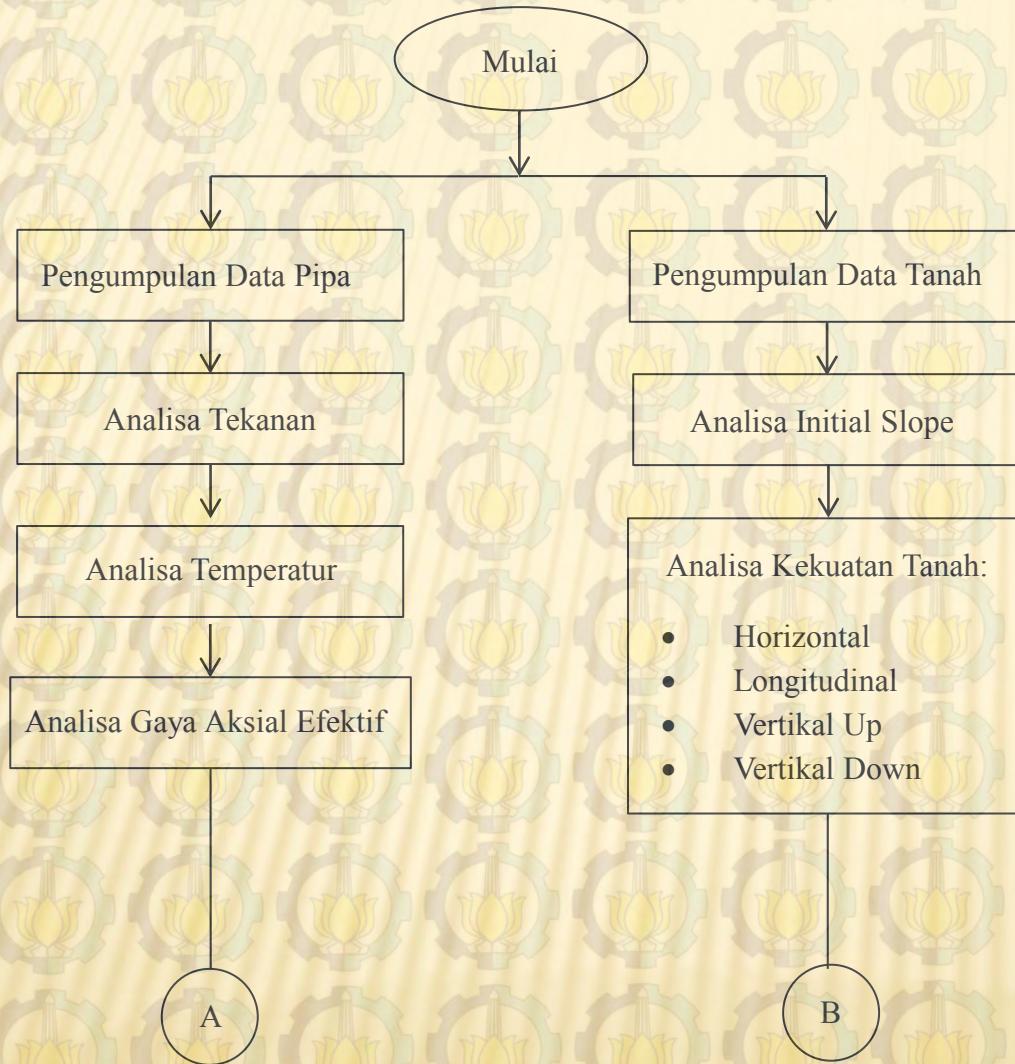
PERUMUSAN MASALAH

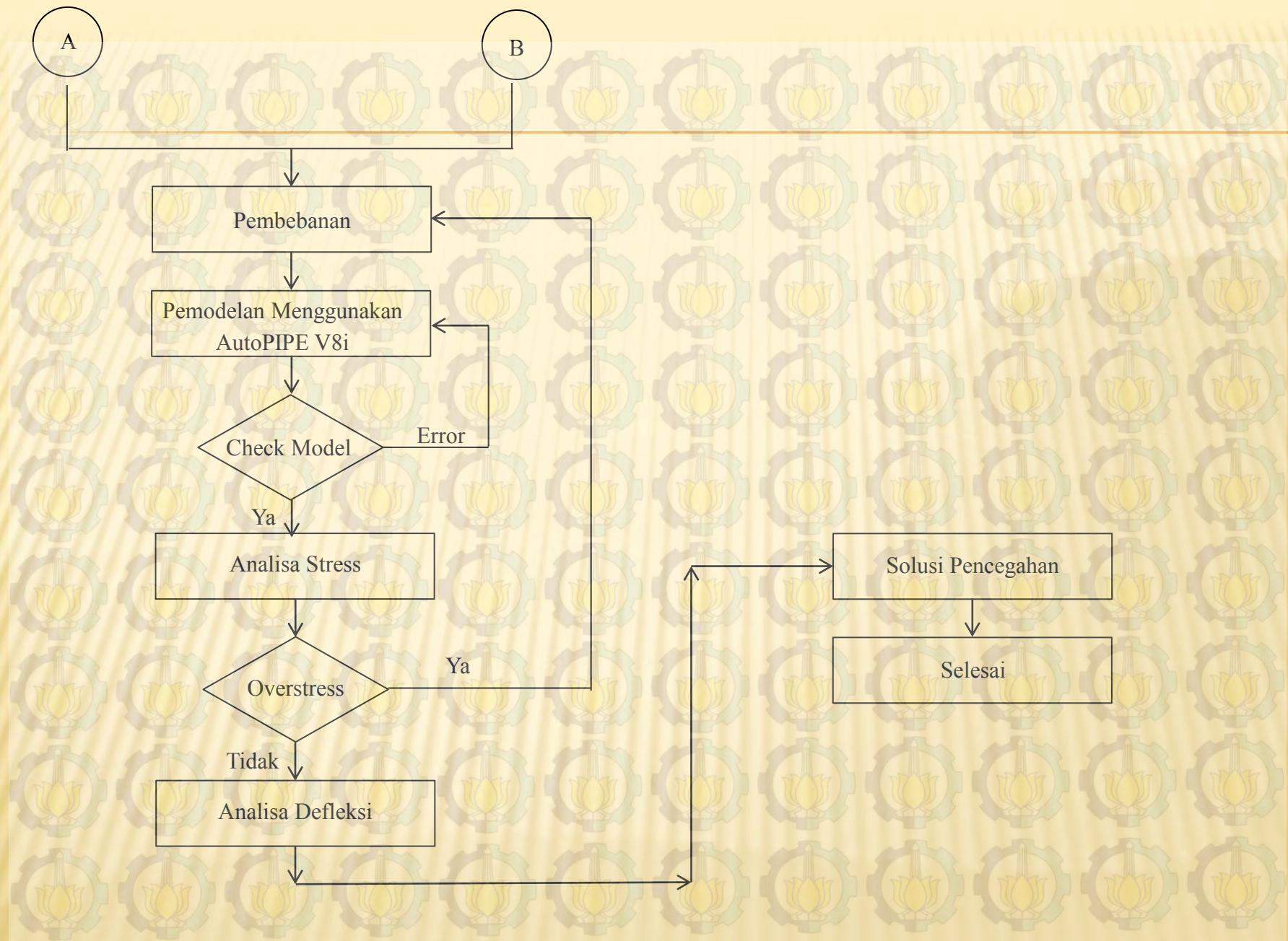
- ✖ Bagaimakah pengaruh variabel tekanan, temperatur, dan kedalaman timbunan pipa terhadap mekanisme *upheaval buckling*?
- ✖ Bagaimanakah pengaruh variabel jenis tanah terhadap gaya tekan pada pipa untuk menahan terjadinya *upheaval buckling*?
- ✖ Apa langkah selanjutnya bila pipa tersebut mengalami *upheaval buckling*?

BATASAN MASALAH

- ✖ Konfigurasi jenis tanah yang dibandingkan adalah *stiff silty clay* dan *loose silty sand*.
- ✖ Batas dari *imperfection height* sebesar 7,5 m.
- ✖ Fluida yang dialirkan berupa gas.
- ✖ Menggunakan code ASME B 31.4, ASME B 31.1, ASME B 31.8, dan DnV OS-F101
- ✖ Tidak meninjau *buckling* pada arah horizontal.
- ✖ Pipa diasumsikan sudah stabil pada saat instalasi.
- ✖ Tidak memperhitungkan beban occasional.
- ✖ Pipa hanya meletak, tanpa adanya pondasi.
- ✖ Hanya memodelkan pipa yang tertimbun

FLOWCHART PENGERJAAN TUGAS AKHIR



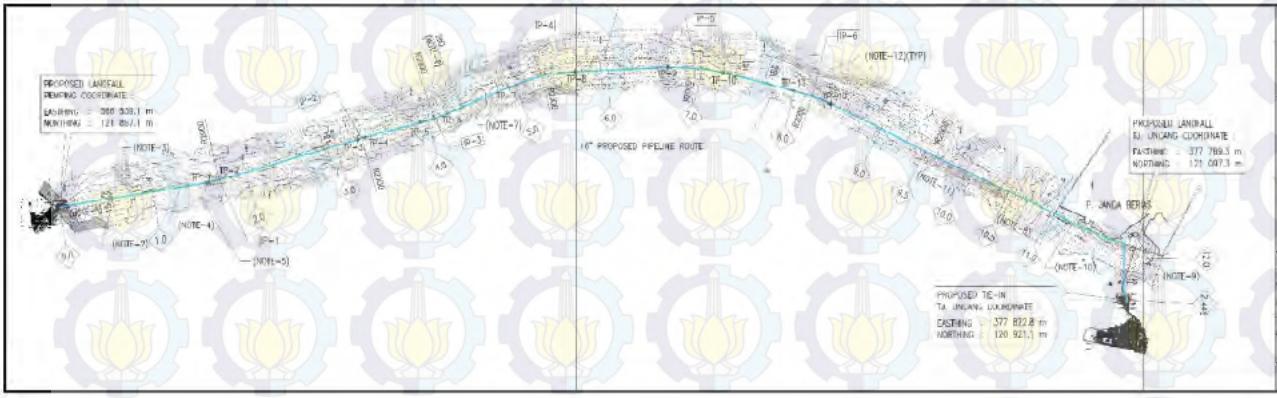


PENGUMPULAN DATA PIPA

Data pipa didapat dari PT ZEE Engineering

Panjang sistem pipeline	± 12,6 km
Diameter pipa	16 inch
Tebal pipa	0,5 inch
Material grade	Schedule API 5L Grade X60 NPS 16
Corrosion allowance	1 mm
Toleransi fabrikasi	0,7 mm
Density	7850 kg/m ³
Rasio poisson's	0,3
SMYS	415 MPa
Modulus young	201799 MPa
Koefisien ekspansi termal	$11,7 \times 10^{-6}$ / °C
Tebal corrosion coating	6 mm (Aspal Enamel)
Densiti corrosion coating	1281,5 kg/m ³
Tebal concrete coating	55 mm
Densiti concrete coating	3040 kg/m ³
Panjang pipa	12,2 m

PENGUMPULAN DATA GEOTEKNIK

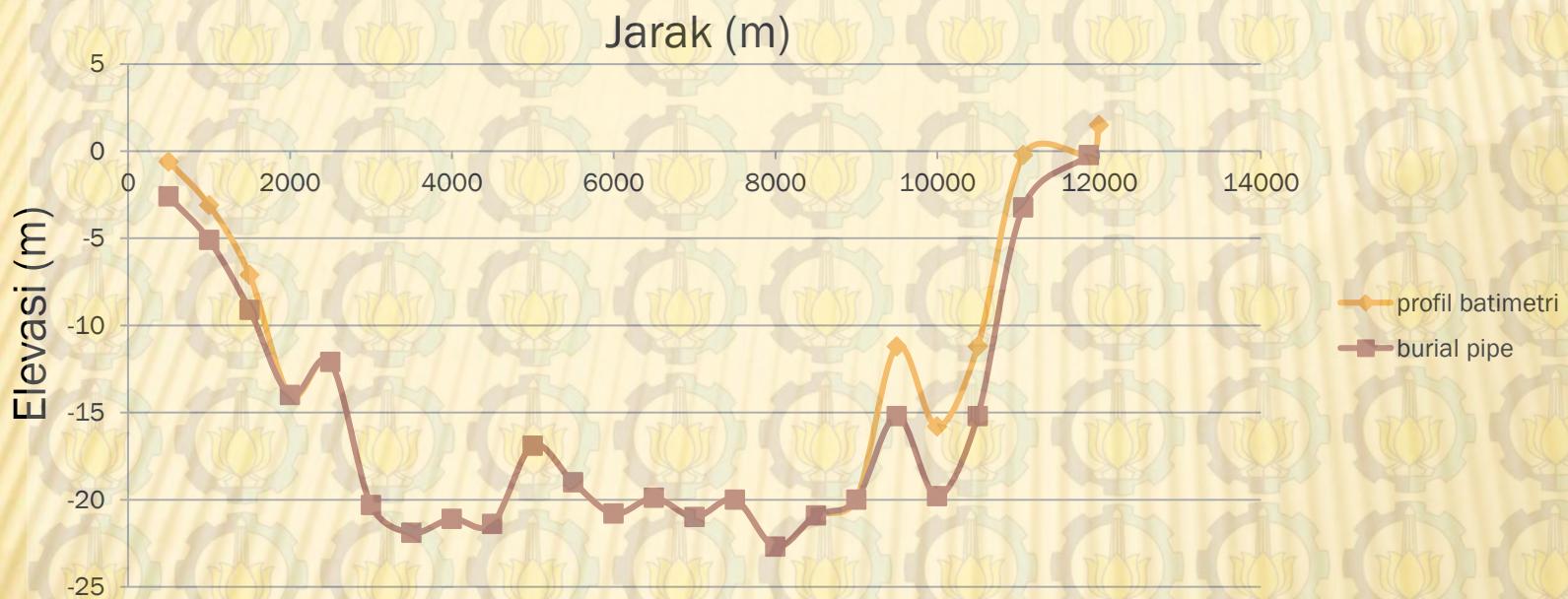


Layout route pipeline

Jenis tanah	Silty clay	Silty sand
Specific gravity	2.66	2.68
Submerged unit weight	7.87 kN/m ³	9.03 kN/m ³
Undrained shear strength	30 kPa	N/A
Sudut internal friction	N/A	30 degree

KP 0.0 – KP 2.5	Sand
KP 2.5 – KP 3.4	Clay
KP 3.4 – KP 4.4	Sand
KP 4.4 – KP 5.4	Clay
KP 5.4 – KP 6.3	Sand
KP 6.3 – KP 7.3	Clay
KP 7.3 – Tanjung Uncang	Sand

PROFIL BATIMETRI DAN INITIAL SLOPE



Grafik diatas merupakan grafik yang tidak berskala karena penulis ingin menunjukkan profil batimetri agar terlihat lebih jelas.

INITIAL SLOPE

jarak (m)	water depth (m)	burial pipe (m)	X2-X1	slope burial pipe	slope batimetri
500	-0,6	-2,6	500		
1000	-3,1	-5,1	500	-0,005	-0,005
1500	-7,1	-9,1	500	-0,008	-0,008
2000	-14	-14	500	-0,0098	-0,0138
2500	-12,1	-12,1	500	0,0038	0,0038
3000	-20,3	-20,3	500	-0,0164	-0,0164
3500	-21,9	-21,9	500	-0,0032	-0,0032
4000	-21,1	-21,1	500	0,0016	0,0016
4500	-21,4	-21,4	500	-0,0006	-0,0006
5000	-16,9	-16,9	500	0,009	0,009
5500	-19	-19	500	-0,0042	-0,0042
6000	-20,8	-20,8	500	-0,0036	-0,0036
6500	-19,9	-19,9	500	0,0018	0,0018
7000	-21	-21	500	-0,0022	-0,0022
7500	-20	-20	500	0,002	0,002
8000	-22,7	-22,7	500	-0,0054	-0,0054
8500	-20,9	-20,9	500	0,0036	0,0036
9000	-20	-20	500	0,0018	0,0018
9500	-11,2	-15,2	500	0,0096	0,0176
10000	-15,8	-19,8	500	-0,0092	-0,0092
10500	-11,2	-15,2	500	0,0092	0,0092
11063	-0,227	-3,227	500	0,023946	0,021946
11872	-0,227	-0,227	500	0,006	0
12000	1,5				

ANALISA KEKUATAN TANAH

Analisa kekuatan tanah mengacu pada manual AutoPIPE. Untuk memodelkan Tahanan tanah (soil resistance), ada empat tahanan tanah yang akan dianalisa

1. Transverse horizontal
2. Transverse Longitudinal
3. Transverse Vertikal up
4. Transverse Vertikal Down

Ada tiga variasi kedalaman timbunan (1.5 m, 2 m, 4 m) dan dua variasi jenis Tanah (sand dan clay), berikut adalah tabel kedalaman timbunan sesuai dengan kilometer point

Kedalaman timbunan	Kilometer point
2.0 m	KP 0.0 – KP 1.9
0.0 m	KP 1.9 – KP 9.5
4.0 m	KP 9.5 – KP 10.5
2.0 m	KP 10.5 – KP 11.5
1.5 m	KP 11.5 – KP 12

Perbedaan perhitungan soil resistance dari jenis tanah clay dan sand

Jenis tanah	Transverse vertikal up			Transverse vertikal doown		
Sand	$p_{tvu} := w_s + D \cdot d_b \cdot \gamma_e \cdot F_q$			$p_{tvd} := D \cdot \gamma_e \cdot (0.5 \cdot D \cdot N_g + h_0 \cdot N_q)$		
Clay	$p_{tvu} := w_s + D \cdot \left(F_c \cdot \frac{S_u}{g} + d_b \cdot \gamma_e \cdot F_q \right)$			$p_{tvd} := D \cdot \left(\frac{1}{2} D \cdot \gamma_e \cdot N_q \cdot g + S_u \cdot N_c \right)$		

Jenis tanah	Transverse horizontal		Transverse longitudinal	
Sand	$p_{th} := R_s \cdot D \cdot z_0 \cdot \gamma_e$		$p_1 := \pi \cdot D \cdot k_s \cdot z_0 \cdot \gamma_e \cdot \tan(\delta_x)$	
Clay	$p_{th} := D \cdot R_c \cdot S_u$		$p_1 := \pi \cdot D \cdot a_d \cdot S_u$	

ANALISA KEKUATAN TANAH

Tahanan Tanah Melintang Horizontal

Tahanan tanah (P_1) atau kekuatan tanah yang dapat menahan defleksi melintang pipa dapat dihitung menggunakan pendekatan teori tekanan tanah pasif.

Jenis tanah	Clay	Loose silty sand	R_c	R_s
Timbunan				
1.5 m	68376 N/m	7516.4 N/m	5.5	4.3
2.0 m	105404.4 N/m	3127 N/m	6.7	4.9
4.0 m	133722 N/m	1551 N/m	8.5	6.3

R_c = koefisien tranverse horizontal untuk tanah clay
 R_s = koefisien yang nilainya bervariasi dengan kedalam timbunan dan kepadatan relatif pasir

Tabel R_c dan R_s

H/D	R_c
1	2.0
2	3.5
3	4.5
4	5.3
5	6.0
6	6.7
8	8.0
10	8.2
≥ 12	9.0

H = kedalaman timbunan dari perukaan tanah hingga dasar pipa
 D = diameter terluar pipa

H/D	Loose	Medium-Dense	Dense
1	2.7	3.9	5.7
2	3.0	4.5	6.9
3	3.8	5.9	9.6
4	4.5	7.2	11.9
5	5.0	8.2	13.7
6	5.4	8.9	15.2
8	6.0	10.0	17.2
10	6.4	10.7	18.6
12	6.6	11.3	19.6

H = kedalaman timbunan dari perukaan tanah hingga dasar pipa
 D = diameter terluar pipa

Tahanan Tanah Longitudinal

Untuk tanah jenis *sand*, nilai tahanan tanah (P_1) dapat ditentukan melalui sudut *frictional resistance* (δ) antara pipa dengan tanah penimbun, Sedangkan untuk jenis tanah liat, tahanan tanah (P_1) dapat dihitung dengan menganalisa faktor kerapatan tanah (*adhesion factor*)

Hubungan antara sudut *internal friction* dengan sudut *frictional resistance* dapat dilihat pada tabel API RP 2A

Jenis pasir	ϕ	δ
Clean sand	35°	30°
Silty sand	30°	25°
Sandy silt	25°	20°
Silt	20°	15°

ϕ = sudut internal friksi

δ = sudut tahanan gesek antara pipa dengan tanah

Parameter	Clay	Loose silty sand
1.5 m	40527.3 N/m	422.7 N/m
2.0 m	40527.3 N/m	747.9 N/m
4.0 m	40527.3 N/m	1398.2 N/m
ϕ	-	30°
δ	-	25°
α	0.82	-
S_u	0.627 kip/ft ²	-

Transverse Vertikal Down

Besarnya daya dukung tanah tergantung dari jenis tanah dan karakter tanah. Tanah kohesi seperti lempung berlumpur (*silty clay*), dan pasir berlumpur (*silty sand*) merupakan tanah yang memiliki friksi yang kecil terhadap material

Mengacu pada tabel faktor daya dukung Mayerhof, maka dari kedua jenis tanah (clay dan sand) memiliki faktor daya dukung (N_c , N_q , N_y) sebagai berikut

Faktor daya dukung tanah	Clay ($\phi = 10^\circ$)	Loose silty sand ($\phi = 30^\circ$)
N_c	8.35	30.14
N_q	2.47	18.40
N_y	0.37	15.67

Kedalaman Timbunan	Clay	Loose silty sand
1.5 m	133125 N/m	8797.9 N/m
2.0 m	133125 N/m	13903.2 N/m
4.0 m	133125 N/m	24113.7 N/m

Transverse Vertikal Up

Tekanan tanah untuk menahan gaya angkat atau defleksi vertikal keatas yang terjadi pada pipa disebut *uplift resistance*

Berikut adalah uplift resistance disetiap variasi kedalaman timbunan dari dua jenis tanah (*clay* dan *sand*),

Kedalaman Timbunan	Clay	Loose silty sand
1.5 m	102770.3 N/m	13340.7 N/m
2.0 m	108154.6 N/m	20295.1 N/m
4.0 m	167866.2 N/m	40437 N/m

Pipe schedule API spesification 5L

100

API SPECIFICATION 5L

Table E-6C (Continued)—Plain-End Line Pipe Dimensions, Weights per Unit Length, and Test Pressures for Sizes 6^{5/8} through 80 (SI Units)

(1) Size	Specified Outside Diameter <i>D</i> (mm)	Specified Wall Thickness <i>t</i> (mm)	Plain-End Weight per Unit Length <i>w_{pe}</i> (kg/m)	Calculated Inside Diameter ^a <i>d</i> (mm)	Minimum Test Pressure ^b (kPa × 100) ^c										
					(6) Grade A	(7) Grade B	(8) Grade X42	(9) Grade X46	(10) Grade X52	(11) Grade X56	(12) Grade X60	(13) Grade X65	(14) Grade X70	(15) Grade X80	
16	406.4	8.7	85.32	389.0	Std.	53	62	106	115	131	140	151	163	176	201
					Alt.	66	77	106	115	131	140	151	163	176	201
16	406.4	9.5	92.98	387.4	Std.	58	68	115	126	143	153	165	178	192	207
					Alt.	73	85	115	126	143	153	165	178	192	219
16	406.4	10.3	100.61	385.8	Std.	63	73	125	137	155	166	178	193	207	207
					Alt.	79	92	125	137	155	166	178	193	208	238
16	406.4	11.1	108.20	384.2	Std.	68	79	135	147	167	179	192	207	207	207
					Alt.	85	99	135	147	167	179	192	208	224	250
16	406.4	11.9	115.77	382.6	Std.	73	85	144	158	179	192	206	207	207	207
					Alt.	91	106	144	158	179	192	206	223	240	250
16	406.4	12.7	123.30	381.0	Std.	78	90	154	168	191	205	207	207	207	207
					Alt.	97	113	154	168	191	205	220	238	250	250
16	406.4	14.3	138.27	377.8	Std.	87	102	173	190	207	207	207	207	207	207
					Alt.	109	127	173	190	215	231	248	250	250	250
16	406.4	15.9	153.11	374.6	Std.	97	113	193	207	207	207	207	207	207	207
					Alt.	121	141	193	211	239	250	250	250	250	250
16	406.4	17.5	167.83	371.4	Std.	107	125	207	207	207	207	207	207	207	207
					Alt.	134	156	212	232	250	250	250	250	250	250
16	406.4	19.1	182.42	368.2	Std.	117	136	207	207	207	207	207	207	207	207
					Alt.	146	170	232	250	250	250	250	250	250	250

Pipa milik PT. UBE mempunyai nominal size 16 dengan OD = 406,4 mm dan WT = 17,5mm

Gaya poisson, gaya ekspansi, dan gaya aksial efektif

Kedalaman Laut	Jenis Tanah	Daerah	Gaya Poisson (N)	Gaya Ekspansi (N)	Gaya aksial Efektif (N)
3,1 m	sand	T. Uncang	$3,807 \times 10^5$	$-6,851 \times 10^5$	$-1,042 \times 10^6$
7,1 m	clay	T. Uncang	$3,776 \times 10^5$	$-6,851 \times 10^5$	$-1,04 \times 10^6$
14 m	clay	T. Uncang	$3,722 \times 10^5$	$-6,851 \times 10^5$	$-1,036 \times 10^6$
20 m	sand	Batam	$3,676 \times 10^5$	$-6,851 \times 10^5$	$-1,032 \times 10^6$
15,8 m	sand	Batam	$3,708 \times 10^5$	$-6,851 \times 10^5$	$-1,035 \times 10^6$
11,2 m	sand	Batam	$3,744 \times 10^5$	$-6,851 \times 10^5$	$-1,038 \times 10^6$
0,227 m	sand	Batam	3829×10^5	$-6,851 \times 10^5$	$-1,044 \times 10^6$

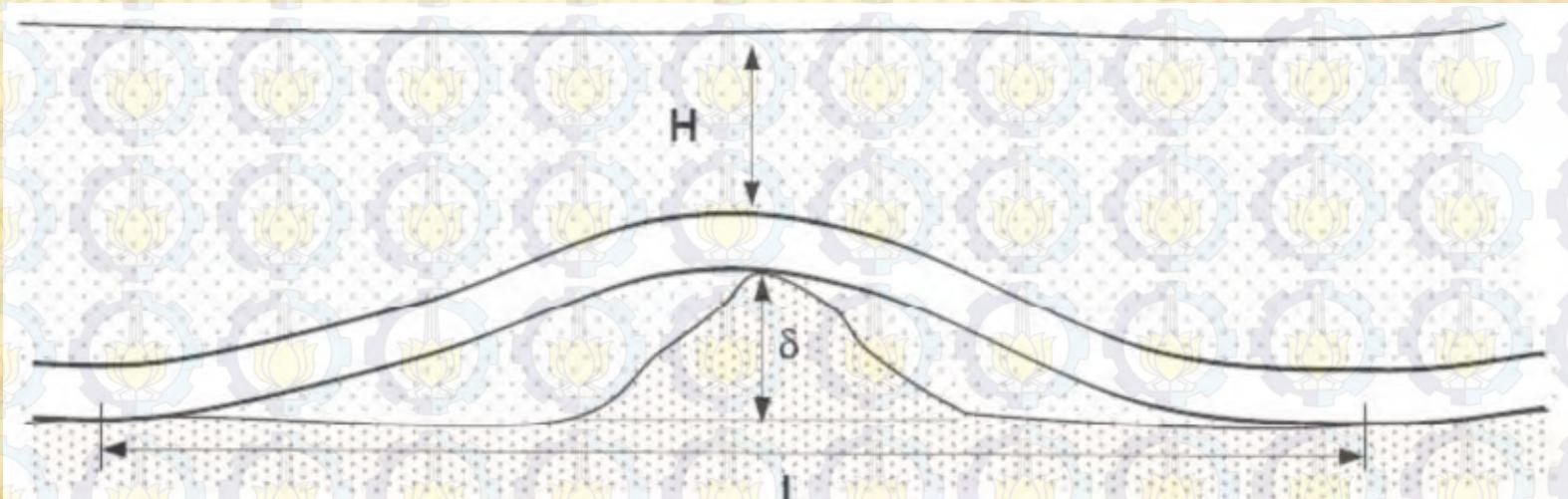
Tabel diatas menunjukkan bahwa gaya poisson berbanding terbalik dengan kedalaman Laut. Semakin dalam kedalaman laut, maka harga gaya poisson semakin kecil

Dawnward resistance

KP (km)	Jenis tanah	dB (m)	L_o	q (kN/m)	W_o (kN/m)	SF · 1
0,0 - 1,0	Sand	1,5	8,94	$1,429 \times 10^4$	$8,806 \times 10^3$	1,6
1,0 - 1,5	Clay	2	8,93	$2,057 \times 10^4$	$8,768 \times 10^3$	2,66
1,5 - 2,0	Clay	2	8,91	$2,057 \times 10^4$	$8,703 \times 10^3$	2,68
9,0 - 9,5	Sand	4	8,92	$8,233 \times 10^4$	$8,729 \times 10^3$	9,43
9,5 - 10,0	Sand	4	8,9	$8,233 \times 10^4$	$8,686 \times 10^3$	9,47
10 - 10,5	Sand	4	8,92	$8,233 \times 10^4$	$8,729 \times 10^3$	9,43
10,5 - 11,0	Sand	2	8,94	$2,338 \times 10^4$	$8,832 \times 10^3$	8,83

Dawnward resistance adalah tekanan tanah yang dipengaruhi oleh imperfection height SF merupakan perbandingan antara tekanan tanah saat kondisi normal (q) dengan kondisi imperfection height (W_o)

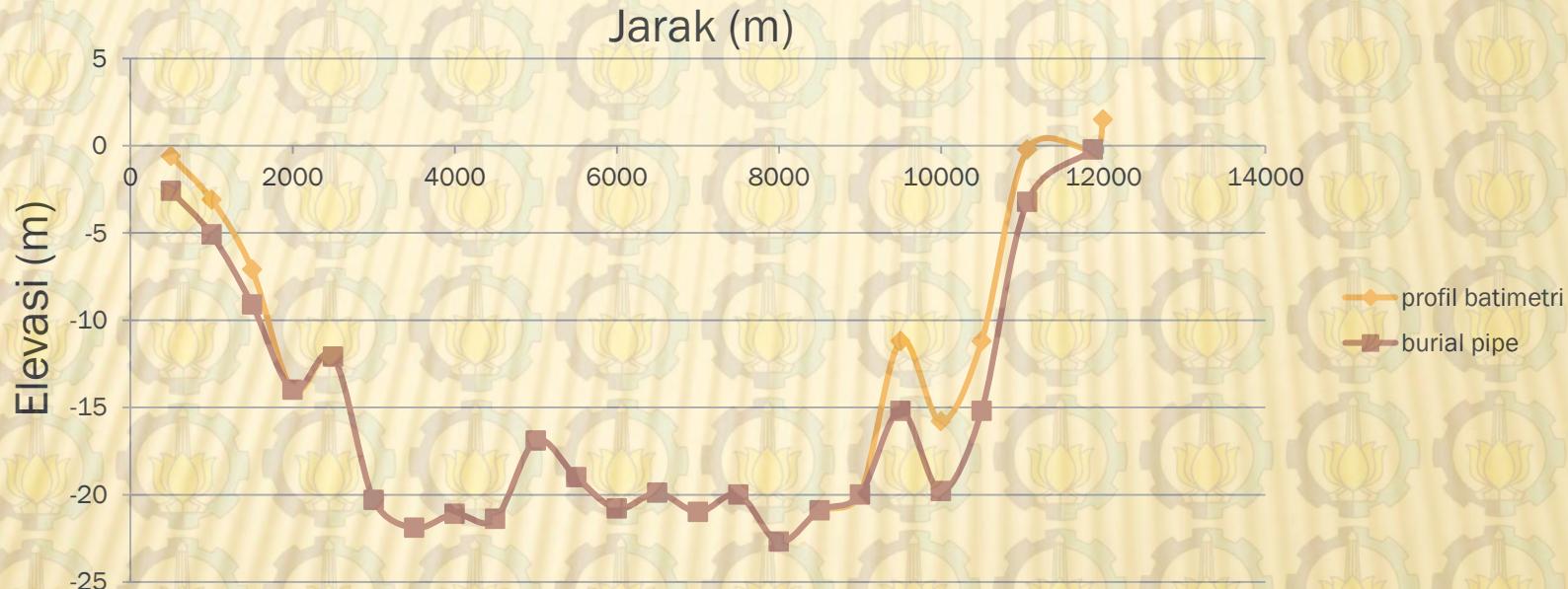
- ✗ Downward merupakan tekanan tanah dengan kondisi pipa dipengaruhi oleh imperfection height. Sedangkan uplift resistance merupakan tekanan tanah pada kondisi normal.



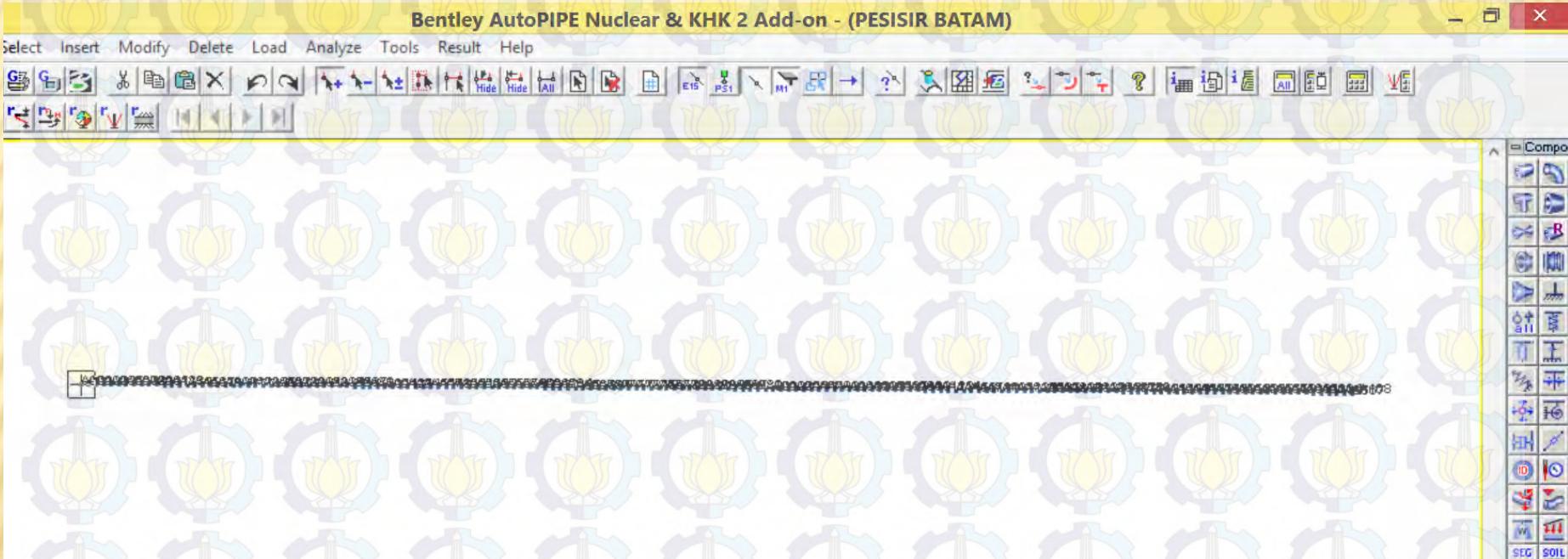
Pemodelan

Pemodelan Upheaval buckling menggunakan software AutoPIPE.

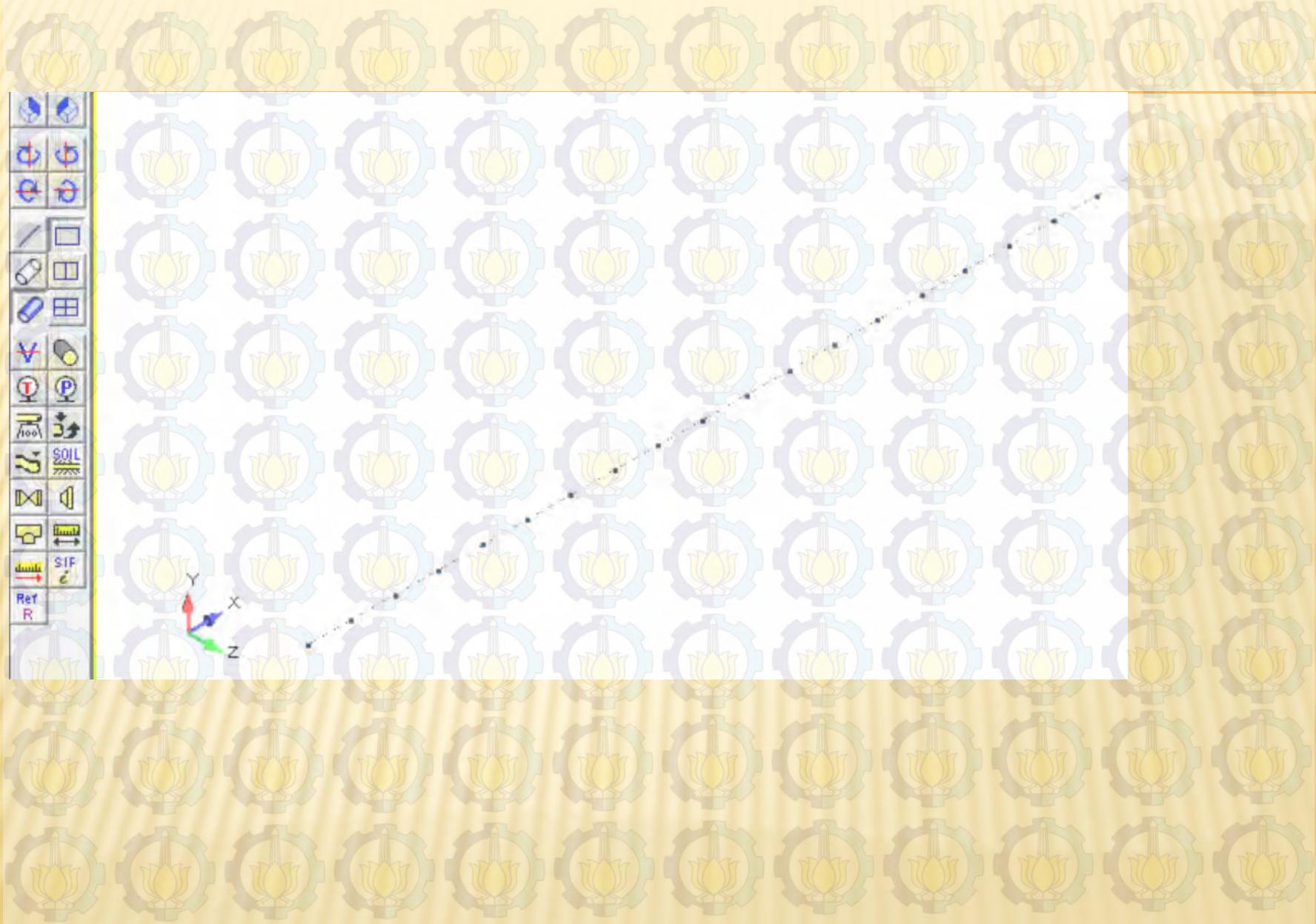
Penyusunan tugas akhir ini hanya memodelkan pipa yang tertanam saja.



PESISIR BATAM



Pemodelan diatas tidak dapat terlihat jelas bahwa kontur di daerah pesisir batam menurun Sampai 14 m. Pemodelan terlihat menurun hanya bisa Dibuktikan dengan nilai offset Dy yang berharga 84,33 mm per segmen.



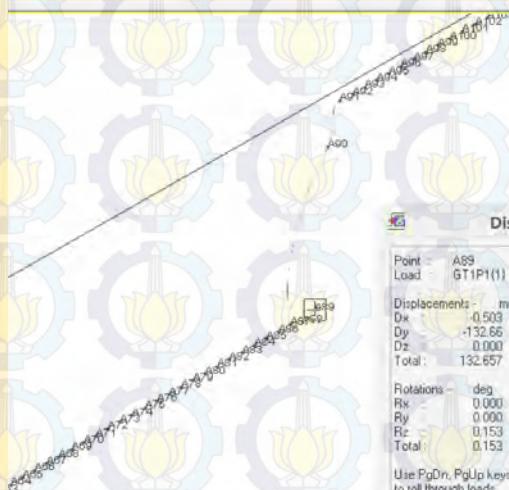
From	To	Comp.	Nominal mm	Length mm	Segment	Offset DX mm	Offset DY mm	Offset DZ mm	Global X mm	Global Y mm	Global Z mm
Origin	A00	Point	406.400		A			-			-
A00	A01	Run	406.400	12000.30	A	12000.00	-84.33	-	12000.00	-84.33	-
A01	A02	Run	406.400	12000.30	A	12000.00	-84.33	-	24000.00	-168.66	-
A02	A03	Run	406.400	12000.30	A	12000.00	-84.33	-	36000.00	-252.99	-
A03	A04	Run	406.400	12000.29	A	12000.00	-84.33	-	48000.00	-337.32	-
A04	A05	Run	406.400	12000.29	A	11999.99	-84.33	-	59999.99	-421.65	-
A05	A06	Run	406.400	12000.29	A	11999.99	-84.33	-	71999.98	-505.98	-
A06	A07	Run	406.400	12000.29	A	11999.99	-84.33	-	83999.98	-590.31	-
A07	A08	Run	406.400	12000.29	A	11999.99	-84.33	-	95999.97	-674.64	-

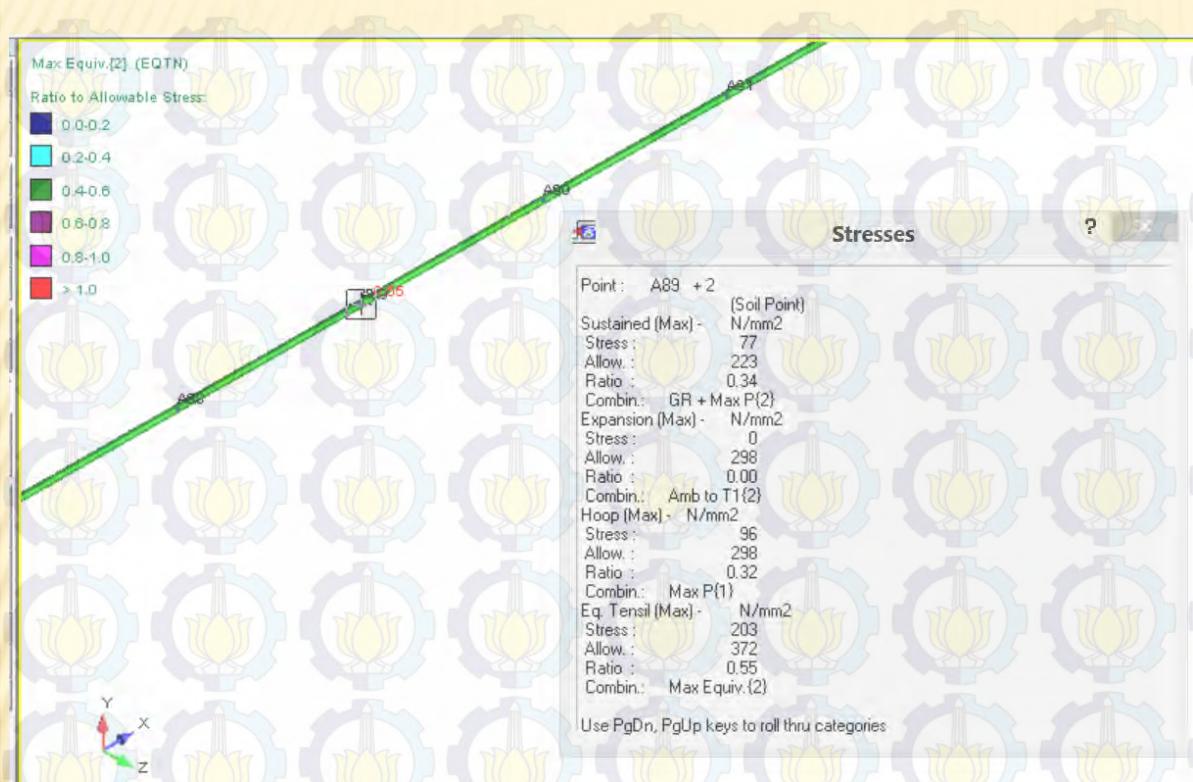
Setiap segmen mempunyai nilai DY minus 84,33 mm.
Untuk pesisir Batam Terdapat 167 segmen.

HASIL RUNNING

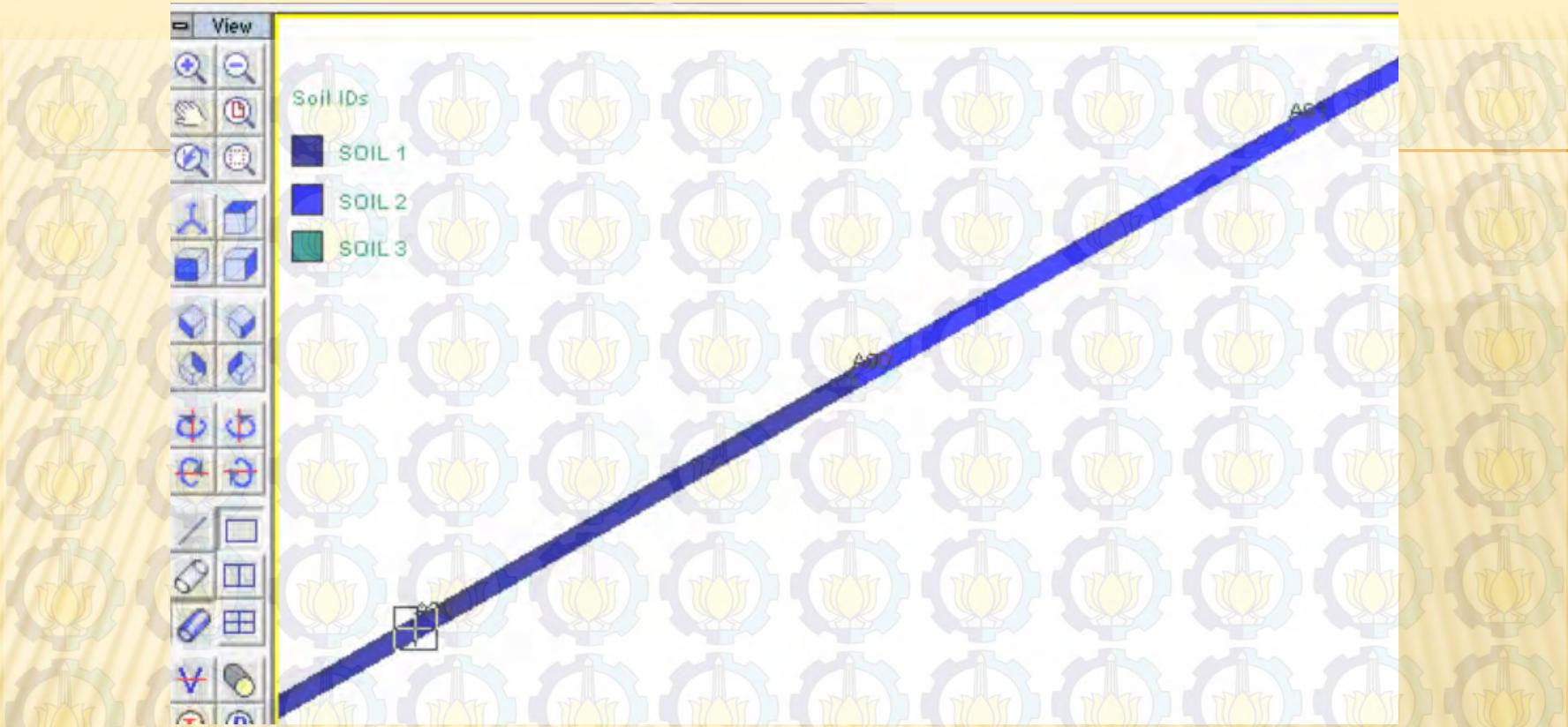
Walaupun Deformasi terlihat ekstrim,
Sebenarnya displasmen yang terjadi
Kecil, dan stress yang terjadi masih
Dalam batas yang diijinkan.

Nuclear & KHK 2 Add-on - (PESISIR BATAM)



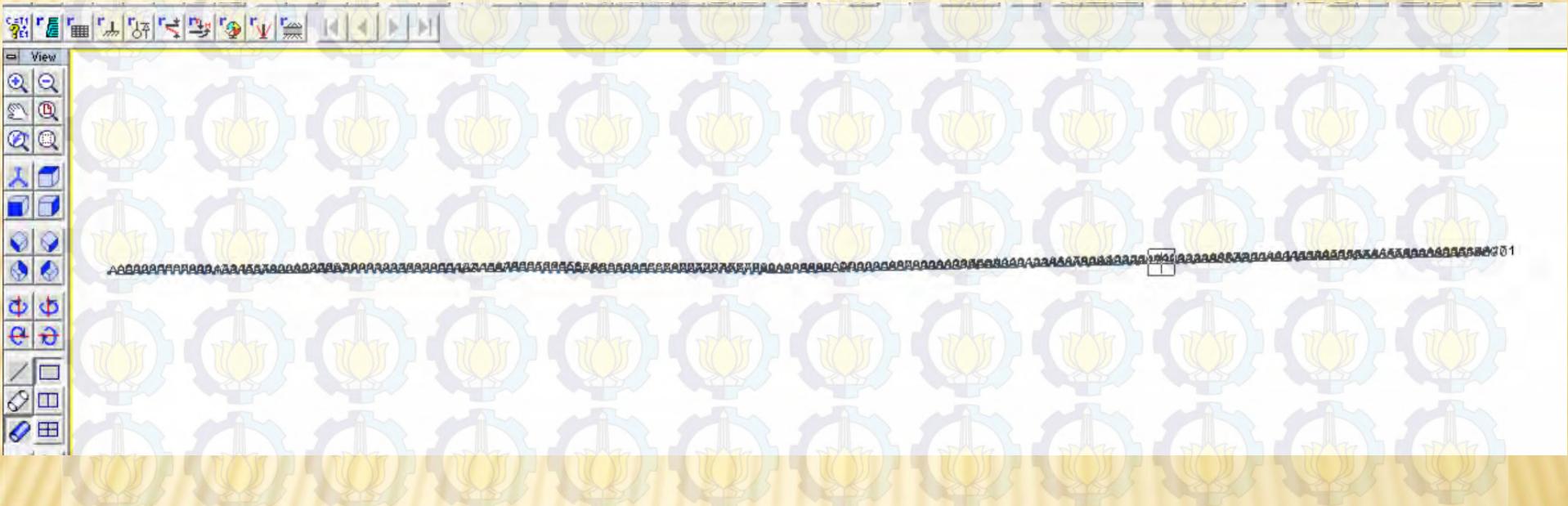


Gambar diatas menunjukkan bahwa stress yang terjadi pada segmen A89 Masih dalam batas yang diijinkan walaupun mengalami deformasi sebesar 13 cm



Gambar pemodelan diatas menunjukkan bahwa ada perbedaan kondisi tanah Antara segmen A90 dengan A91, kondisi soil 1 merupakan kondisi pipa yang ditanam pada kedalaman 1,5 m, soil 2 merupakan kondisi pipa yang ditanam pada kedalaman 2 m,

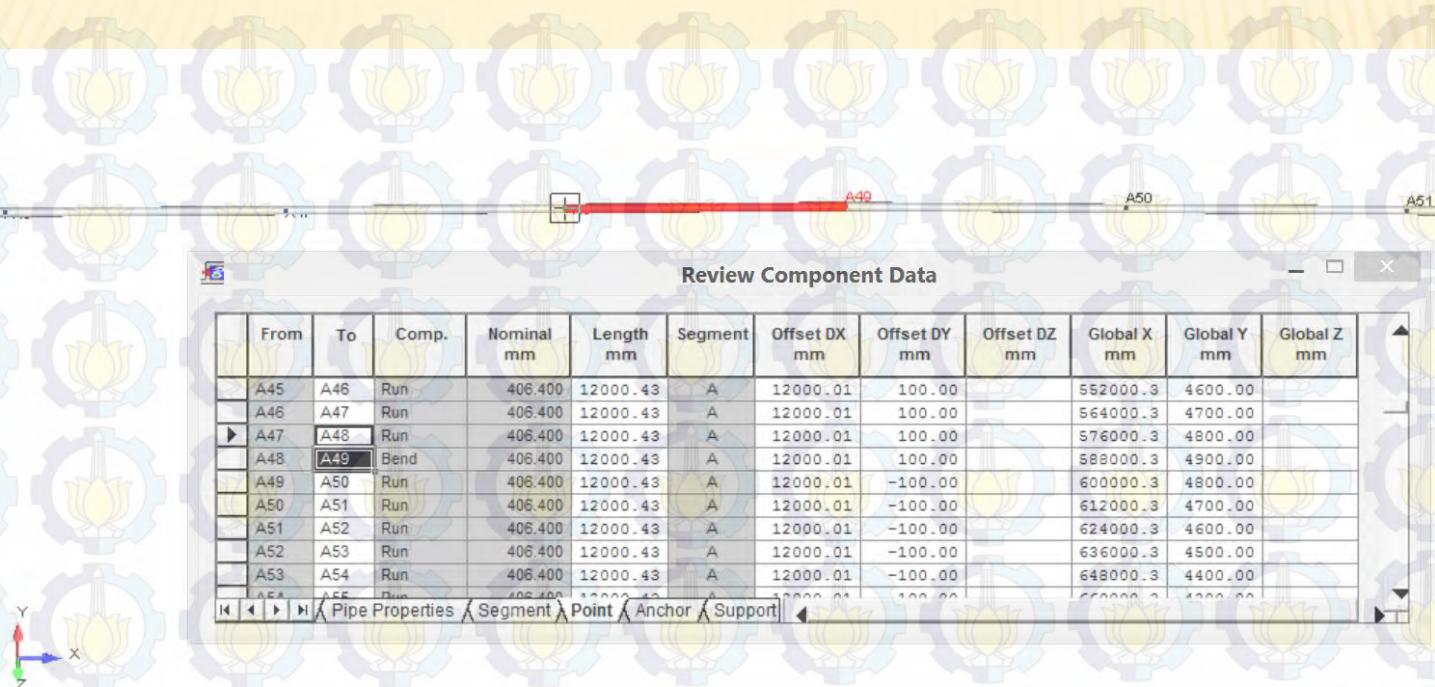
TANJUNG UNCANG



Sama hal nya dengan pemodelan pipeline di pesisir Batam. Perbedaan elevasi pada Pipeline Tanjung Uncang dapat ditunjukkan pada nilai offset DY yang berharga (-) dan (+).

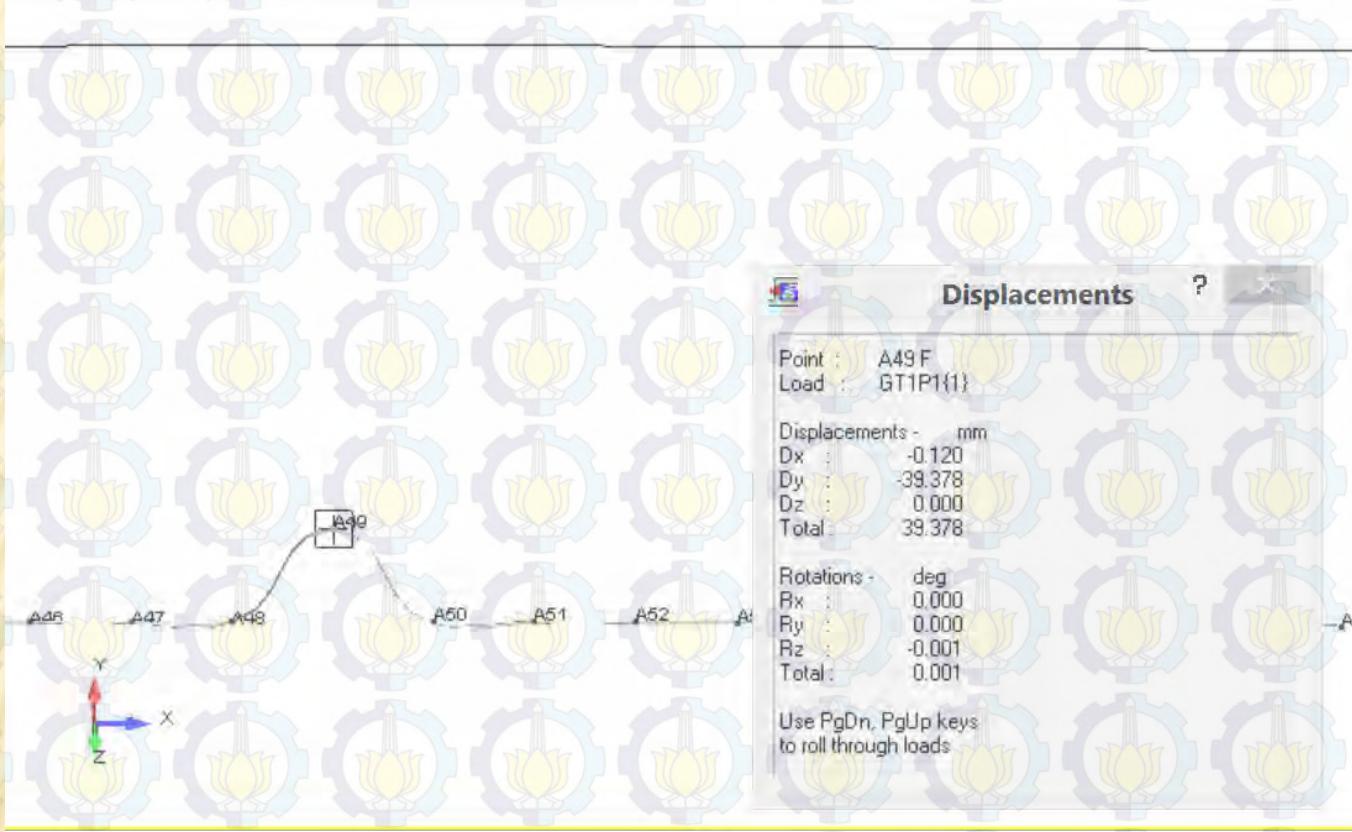
From	To	Comp.	Nominal mm	Length mm	Segment	Offset DX mm	Offset DY mm	Offset DZ mm	Global X mm	Global Y mm	Global Z mm
Origin	A00	Point	406.400		A						-
A00	A01	Run	406.400	12000.42	A	12000.00	100.00		12000.00	100.00	-
A01	A02	Run	406.400	12000.42	A	12000.00	100.00		24000.00	200.00	-
A02	A03	Run	406.400	12000.42	A	12000.00	100.00		36000.00	300.00	-
A03	A04	Run	406.400	12000.42	A	12000.00	100.00		48000.00	400.00	-
A04	A05	Run	406.400	12000.42	A	12000.00	100.00		60000.00	500.00	-
A05	A06	Run	406.400	12000.42	A	12000.00	100.00		72000.00	600.00	-

Untuk pipeline di daerah Tanjung Uncang, kontur dasar laut membentuk puncak dan Lembah. Initial slope di daerah kilometer poin 9,0 – 9,5 membentuk puncak, maka Dari itu offset DY bernilai (+)

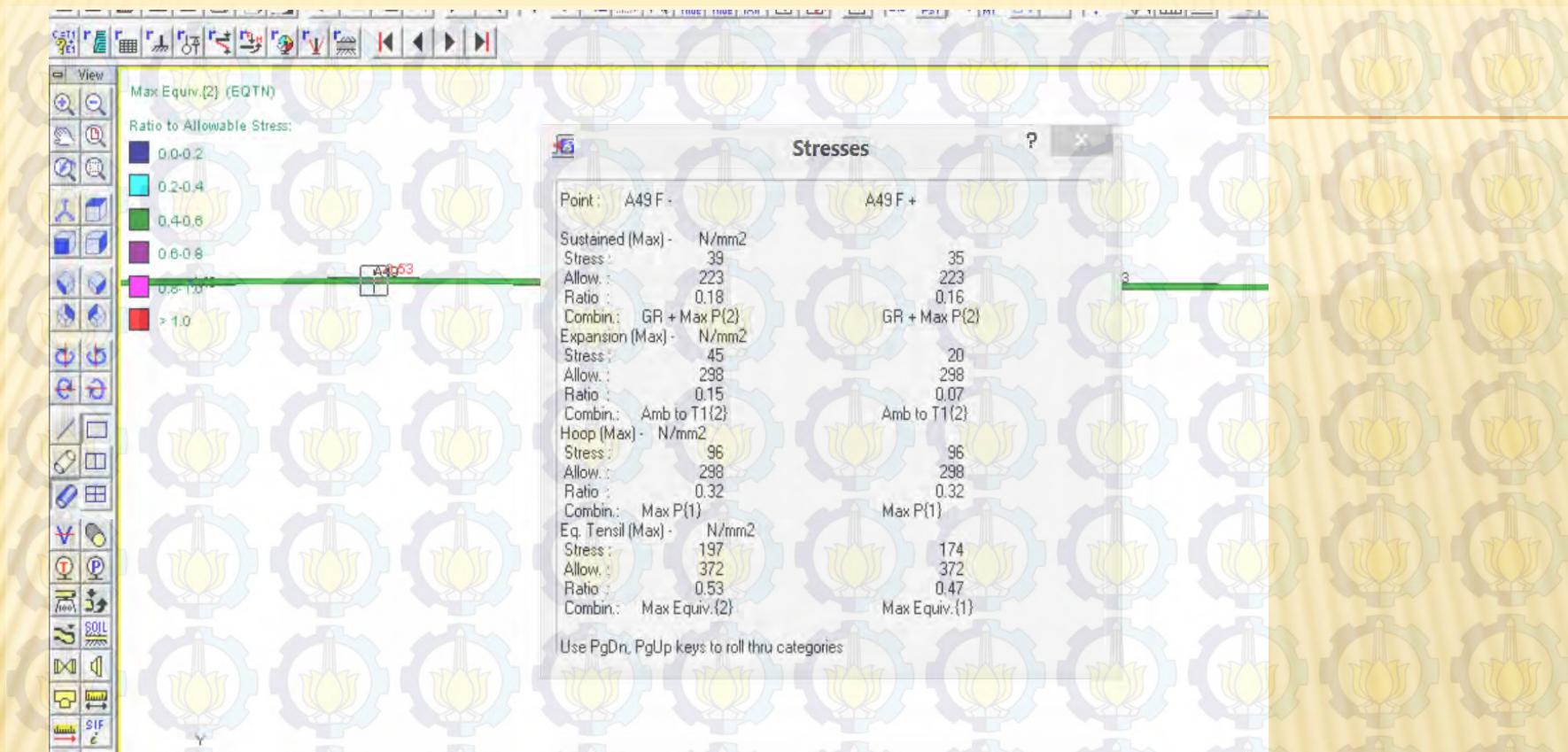


Nilai offset yang membuktikan bahwa kontur bawah laut membentuk puncak.

HASIL RUNNING



Segmen A49 membuktikan bahwa initial slope merupakan faktor utama Yang menyebabkan upheaval. Initial slope akan memudahkan pipa mengalami Deformasi awal akibat tidak ratanya tanah



Pada pemodelan pipeline di Tanjung Uncang, memang terjadi upheaval sebesar 3 cm. Tetapi lekukan yang telah terjadi berpotensi untuk menjalar bila terus menerus. Mendapatkan sustainable stress. Maka perlu adanya Penyelidikan

KESIMPULAN

1. Upheaval buckling terjadi karena adanya gaya aksial efektif akibat pengaruh perbedaan tekanan, dan perbedaan temperatur.
2. Perbedaan tekanan antara tekanan eksternal dengan tekanan internal dapat menyebabkan gaya Poisson yang cukup besar. Perbedaan tekanan tersebut dipengaruhi oleh kedalaman laut. Semakin dalam laut tekanan eksternal makin besar.
3. Gaya ekspansi juga berpengaruh terhadap upheaval karena ekspansi dapat menyebabkan pipa ber-elongasi.
4. Semakin dalam timbunan, upheaval semakin dapat ditahan, tetapi dapat menambah pada pipa itu sendiri.
5. Tanah jenis clay mempunyai daya tekan yang lebih besar dari pada tanah jenis pasir karena sifat kohesi yang dimiltanah liat. Pasir tidak mempunyai nilai kohesi yang tinggi karena partikel pasir tidak bisa saaling mengikat.
6. Banyak cara untuk mengatasi upheaval buckling, bisa dengan cara menambah timbunan tanah, meletakkan matras pada pipa yang berpotensi mengalami upheaval buckling, dan menggunakan anchor sebagai penahan agar pipa tida mengalami deformasi arah vertikal

Daftar Pustaka

- API RP 2A 2007 “*Recommended Practice for Planning, Design and Constructing Fixed Offshore Platform-Working Stress Design* ”. Washington.
- ASME B31. 4. 2006. “*Pipeline Transportation System for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids* ”. New York.
- ASME B31. 8. 2007. “*Gas Transmission and Distribution Piping System* ”. New York.
- DNV RP-F-110. 2007. “*Global Buckling of Submarine Pipelines* ”. Norway.
- Fan, Shengsheng. 2013. “*Upheaval Buckling of Burried Pipeline* ”. Master Thesis. Department of Marine Technology. NTNU. Norwegia.
- Karamanos, Spyros. 2009. “*Structural Integrity Of Steel Oil & Gas Pipelines With Local Wall Distortions* ”. http://www.mie.uth.gr/labs/mex-lab/Structural_integrity1-5.html.
- Lim, Aswin. 2013. “Kajian Daya Dukung Pondasi Menerus Terhadap Jarak Antar Pondasi dan Kondisi Tanah yang Berlapis”. Universitas Katolik Parahyangan.
- Meyerhof, G.G. 1963. “*Some Recent Reaserch on the Bearing Capacity of Foundation* ”. Canadian Geotechnical Journal.
- Noris, Tobby. 2009. “*Algorithm Derivation: Single Cylinder Solution* ”. http://www.tobynorris.com/work/prog/cpp/mfc/concyl_hlp/algorithmd derivation.htm.
- OTC. 1990. “*Design of Submarine Pipelines Againts upheaval Buckling* ”. OTC Program Committee. Texas. 1990.
- Palmer, A. C. Dan Baldry, J.A.S. 1974. “*Latteral Buckling of Axially-Compressed Pipelines* ”. Journal Petroleum of Technology. 1974.
- Prayoga, Friga Surya. 2012. “Studi Pengaruh Temperatur, Tekanan Internal, dan Kedalaman Tanah Terhadap Mekanisme *Upheaval Buckling* pada Pipa Onshore”. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan. ITS. Surabaya.
- Rahman, Fahmi Fazlur. 2012. “Analisa Penyebab Terjadinya *Upheaval Buckling* pada pipeline 16” dan *Corrective action*”. Tugas Akhir. Jurusan teknik Kelautan. ITS. Surabaya

Rieska. 2013. “*Upheaval Buckling of Offshore Pipelines*”.

<http://nonerieska.wordpress.com/2013/02/01/upheaval-buckling-of-offshore-pipelines/>

Rizaldi, Armando. 2008. “Analisa Buckling Pada Saat Instalasi Pipa Bawah Laut: Studi Kasus Saluran Pipa Baru “Karmila - Titi” Milik CNOOC Di Offshore South East Sumatra”. Tugas akhir. Jurusan teknik kelautan. Its. Surabaya.

Yunnita, Cut. 2008. “Studi Parameter Pipa Dalam Tanah Terlikuifikasi”. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Indonesia.