

Optimasi Ketebalan Insulasi Multilayer Pada *Offshore Pipeline* untuk Mengurangi Tegangan Aksial

Aditya Aldi Wibowo^{1*}, M. Anis Mustaghfirin², Muhammad Shah³

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*23}

Email: adityaald87@gmail.com¹

Abstract - Research and discovery of theories have been carried out about calculating the most effective insulation thickness using a critical thick formula. The critical thickness is located at the confluence the two lines of conduction and convection so that the value of heat loss and the cost is obtained by effectively. On the other condition, there is a large axial force if insulation only viewed in terms of Heat loss. Modelling is done numerically with the finite element computational fluid dynamic (CFD) method. Modelling is aided by fluent software and static structural from Ansys17.2. The results of the study were carried out on the Heat loss manual calculation method, that the best thickness in the critical thickness is 25 mm. While the results of software modelling obtained the maximum stress value that was best at a thickness of 15mm, viz 194780 KPa. Optimization is done by one way Anova statistical method on Axial Force and Thickness then the most optimum thickness results are 20 mm.

Keyword: multilayer insulation, heatloss, axial force, computational fluid dynamic, optimization

Nomenclature

Q	Laju Perpindahan panas (W)
K	Konduktivitas thermal (W/mK)
T	Temperature (°C)
R	Jari-jari silinder (m)
D	Diameter Pipa (m)
L	Panjang Pipa (m)
t	Ketebalan Pipa (m)
A	Luas Penampang (m ²)
Cp	kapasitas kalor spesifik kJ/(kg.K)
R3	Tebal Kritis (m)
h	Konveksi lingkungan (W/m ² K)
Peff	Tegangan Aksial Efektif (N)
Pwall	Tegangan Aksial pada Dinding (N)
ΔP	Perbedaan Tekanan (MPa)

1. PENDAHULUAN

Sebuah perusahaan fabrikator terkenal dalam bangunan lepas pantai sedang dalam proyek pengerjaan *wellhead platform*. Dalam dunia *oil and gas* atau industri hulu, *wellhead platform* memiliki fungsi pengambilan minyak dan gas bumi saat pertama kali dihasilkan oleh sumur minyak dimana hasil minyak dan gas bumi dari masing-masing *wellhead platform* akan didistribusikan ke *processing platform*. Untuk proses pendistribusian antar *platform* yang berada pada lepas pantai dibutuhkan *pipeline* atau bisa juga disebut *flowline*. *Pipeline* yang menghubungkan antar *platform* disebut sebagai *subsea pipeline*. Letak *pipeline* yang berada di dasar permukaan air laut atau biasa disebut *seabed* membutuhkan *external coating* untuk melindungi pipa kontak langsung dengan lingkungan. Dalam distribusi minyak bumi dan gas alam,

temperature yang berada pada pipa harus dijaga agar relative tetap dan tidak berubah. Karena setiap material memiliki nilai konduktivitas yang mengakibatkan kalor yang ada di dalam fluida akan ikut mengalir. Kalor dapat melalui proses konduksi, konveksi ataupun radiasi, yang jelas temperature dalam pipa akan cenderung untuk berubah. beberapa pipa lepas pantai memiliki lapisan isolasi yang terbuat dari polypropylene atau polietilen.

Dalam penelitian ini merujuk pada jurnal internasional tahun 2018 dengan judul “*Effective Axial Force in Multi-Layered Cylinders with Applications to Insulated Offshore Pipelines*” karangan Knut Vedeld. Dimana pada Jurnal internasional telah dilakukan penelitian tentang tegangan aksial yang terjadi, jika konfigurasi insulasi yang ditentukan diterapkan pada empat *Pipeline System* yang berbeda. Sedangkan dalam penelitian ini tetap menggunakan konfigurasi insulasi yang sama dengan jurnal, akan tetapi dilakukan perhitungan *heat loss* dan *axial force* pada satu *Pipeline System* dengan ketebalan insulasi yang divariasikan. Kemudian dilakukan pemodelan dan komputasi dengan bantuan *Software Ansys 17.2* dan Optimasi ketebalan insulasi dan *Axial Force* melalui perhitungan Statistik.

2. METODOLOGI .

2.1 Prosedur Penelitian

Pemodelan konfigurasi insulasi multilayer dilakukan dengan *software ANSYS 17.2* untuk menghasilkan kontur temperatur dan tegangan yang terjadi pada pipa dan insulasi. Setelah

melakukan pemodelan kemudian dilakukan validasi antara *software ANSYS* dan jurnal internasional. Kemudian dilakukan pemodelan geometri 5 variasi ketebalan pada PP Foam. Simulasi objek penelitian menggunakan ANSYS *Fluent* dan *Static Structural*. Optimasi ketebalan dengan menggunakan metode statistika.

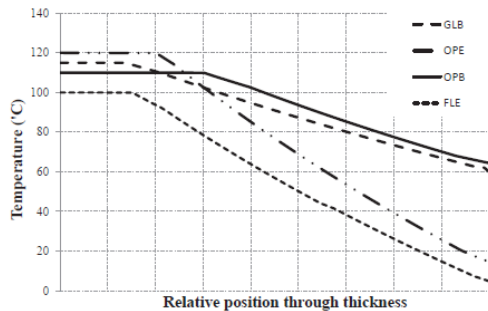
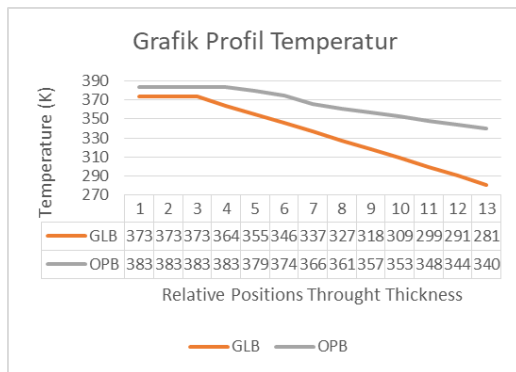


Fig. 3. Temperature profiles through the thickness of the pipeline steel wall and coating for the GLB, OPE, OPB and FLE pipelines.

Gambar 2.1 grafik jurnal internasional



Gambar 2.2 grafik validasi

Validasi diatas hanya dilakukan pada 2 sistem *pipeline* GLB dan OPB. Validasi dilakukan untuk mencocokkan penelitian dengan jurnal yang diacu.

2.2 Perpindahan Panas

Untuk mendapatkn nilai tebal insulasi dapat dihitung dengan metode perpindahan panas sebagai berikut.

2.2.1 Perhitungan Tebal Kritis

$$R3 = \frac{Kiso}{h} \quad (1)$$

Persamaan (1) menunjukkan perhitungan tebal kritis. Dimana Kiso merupakan konduktivitas insulasi, h merupakan konveksi lingkungan.

2.2.2 Heat Losses

$$Q = \frac{2\pi L(T_1 - T_4)}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{ka} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{kb} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{kc}} \quad (2)$$

Persamaan (2) menunjukkan perhitungan *heatloss*. Dimana KA,KB,KC merupakan material, r merupakan Jari-jari silinder (m). L panjang bidang (m), T1 Temperatur dalam

silinder (°C), T2 temperatur luar silinder (°C).

2.3 Tegangan Aksial

$$P_{wall} = P_{eff} + \frac{\pi}{4} \Delta P (D - 2t)^2 \quad (3)$$

Persamaan (3) menunjukkan perhitungan tegangan aksial. Dimana Pwall *axial force* pada dinding pipa (N), Peff *effective axial force*(N), ΔP perbedaan tekanan (MPa), D diameter pipa (m), t *wall thickness* (m).

2.4 Optimasi Statistik

Penelitian ini terdiri dari 5 variasi. Maka dari itu, pemilihan variasi harus dilakukan secara teoritis supaya hasil yang didapatkan benar-benar yang paling baik. Metode statistik yang digunakan adalah metode ANOVA *one-way*. Analisis varians (analysis of variance) atau ANOVA adalah suatu metode analisis statistika yang termasuk ke dalam cabang statistika inferensi. Uji dalam anova menggunakan uji F karena dipakai untuk pengujian lebih dari 2 sampel. Anova satu arah (one way anova) digunakan apabila yang akan dianalisis terdiri dari satu variabel terikat dan satu variabel bebas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Tebal Kritis

Dari perhitungan rumus (1) didapatkan ketebalan kritis 25mm dengan begitu didapatkan 5 variasi ketebalan dua dibawah dan diatas tebal kritis. Variasi ketebalan didapatkan 15mm, 20mm, 25mm, 30mm, dan 35mm.

3.2 Perhitungan Heat losses

Perhitungan *heat loss* berdasarkan pada prinsip persamaan (2). Adapun hasil perhitungan *heat loss* pada ke-5 variasi sebagai berikut.

Tabel 3.1 Perhitungan Heat Losses

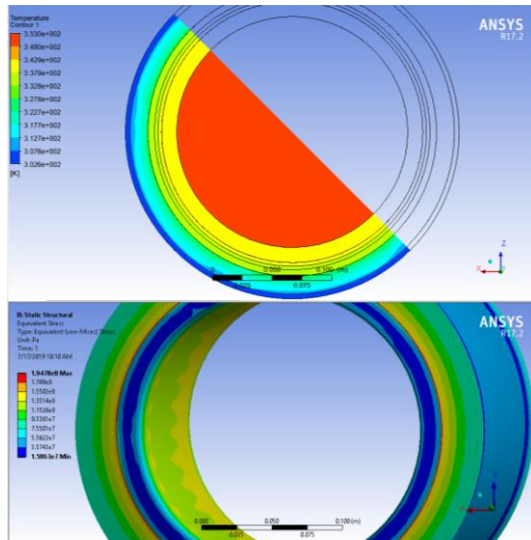
No	Ketebalan	Heat Losses	Satuan
1	15 mm	73,145734	W
2	20 mm	60,532822	W
3	25 mm	52,898453	W
4	30 mm	45,613253	W
5	35 mm	40,830874	W

Dari Tabel di atas dapat diketahui terjadi nilai *heatloss* yang paling tinggi pada ketebalan 15mm sebesar 73,145 W dan yang paling rendah pada ketebalan 35 mm sebesar 40,830 W.

3.3 Hasil Simulasi

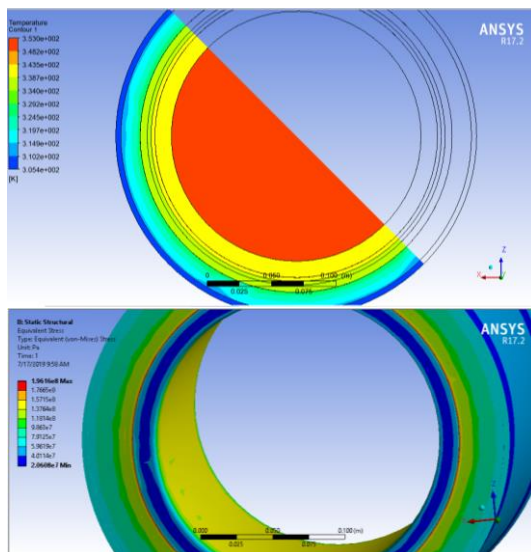
Hasil simulasi berikut adalah dari ANSYS *fluent* (*finite Volume*) kemudian dilanjutkan dengan

static structura (finite Element)l atau biasa disebut ANSYS Multiphysics.



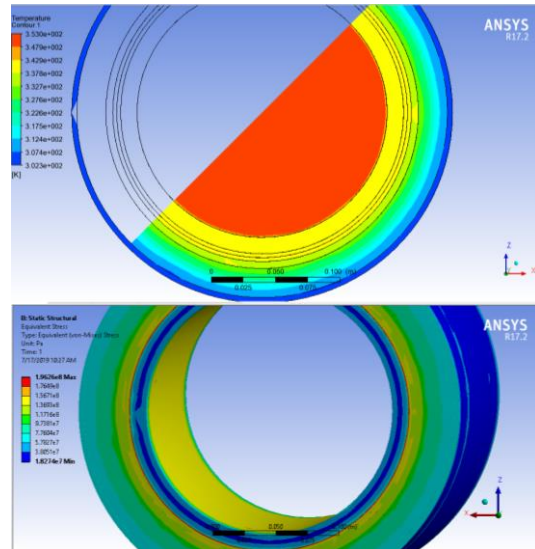
Gambar 3.1. Kontur temperatur dan tegangan 15mm

Pada ketebalan 15 mm didapatkan temperatur dinding terluar yaitu *polypropylene solid* sebesar 306,9 K & Tegangan maksimal yang terjadi pada pipa dan insulasi sebesar 194780 KPa



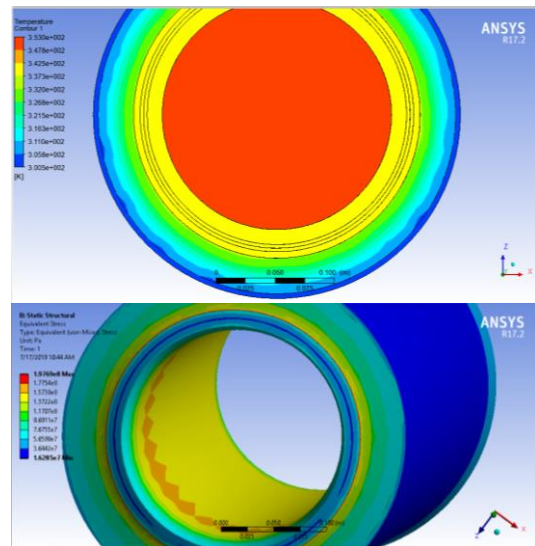
Gambar 3.2. Kontur temperatur dan tegangan 20mm

Pada ketebalan 20 mm didapatkan temperatur dinding terluar yaitu *polypropylene solid* sebesar 305 K & Tegangan maksimal yang terjadi pada pipa dan insulasi sebesar 196160 KPa.



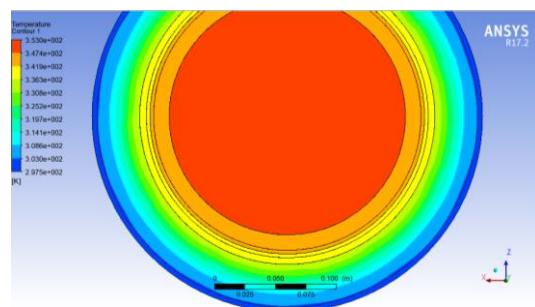
Gambar 3.3. Kontur temperatur dan tegangan 25mm

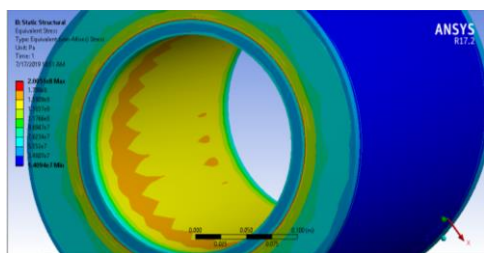
Pada ketebalan 25 mm didapatkan temperatur dinding terluar yaitu *polypropylene solid* sebesar 302,7 K & Tegangan maksimal yang terjadi pada pipa dan insulasi sebesar 196260 KPa.



Gambar 3.4. Kontur temperatur dan tegangan 30mm

Pada ketebalan 30 mm didapatkan temperatur dinding terluar yaitu *polypropylene solid* sebesar 300.3 K & Tegangan maksimal yang terjadi pada pipa dan insulasi sebesar 197690 KPa.





Gambar 3.5. Kontur temperatur dan tegangan 35mm

Pada ketebalan 20mm didapatkan temperatur dinding terluar yaitu *polypropylene solid* sebesar 297,3 K & Tegangan maksimal yang terjadi pada pipa dan insulasi sebesar 200510 KPa.

3.4 Hasil Tegangan Software

Tabel 3.2 hasil tegangan dari software

Tegangan yang Terjadi pada Tiap-tiap Daerah Pipa (KPa)				
15 mm	20 mm	25 mm	30 mm	35 mm
194780	196160	196260	197690	200510
174230	176650	176490	177540	179800
153680	157150	156710	157380	159090
133140	137640	136930	137220	138370
112590	118140	117160	117070	117660
92042	98630	97381	96911	96947
71494	79125	77604	76755	76234
50947	59619	57287	56598	55520
30400	40114	38051	36442	34807
15863	20608	18274	16285	14094

Tabel di atas merupakan tegangan yang dihasilkan dari simulasi ANSYS *static structural* pada kelima variasi. teganganTegangan maksimal terlihat pada kontur yaitu terjadi antara pipa dan *Fusion Bonded Epoxy*.

3.5 Hasil Optimasi Statistik

Tabel 3.3 Optimasi statistik

Multiple Comparisons
 Dependent Variable: x
 LSD

(I) (J)	y y	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
					Lower Bound	Upper Bound	
1	2	-5467	27196.8	.842	-60244.1	49310.1	
		-4352.1	27196.8	.874	-59129.2	50425	
		-4072.5	27196.8	.882	-58849.6	50704.6	
		11795.4	27196.8	.667	-42981.7	66572.5	
		5467	27196.8	.842	-49310.1	60244.1	
2	1	5467	27196.8	.842	-49310.1	60244.1	
		3	1114.9	27196.8	.967	-53662.2	55892
		4	1394.5	27196.8	.959	-53382.6	56171.6
		5	17262.4	27196.8	.529	-37514.7	72039.5
		1	4352.1	27196.8	.874	-50425	59129.2
3	1	4352.1	27196.8	.874	-50425	59129.2	
		2	-1114.9	27196.8	.967	-55892	53662.2
		4	279.6	27196.8	.992	-54497.5	55056.7
		5	16147.5	27196.8	.556	-38629.6	70924.6
		1	4072.5	27196.8	.882	-50704.6	58849.6
4	1	4072.5	27196.8	.882	-50704.6	58849.6	
		2	-1394.5	27196.8	.959	-56171.6	53382.6
		3	-279.6	27196.8	.992	-55056.7	54497.5
		5	15867.9	27196.8	.563	-38909.2	70645
		1	-11795.4	27196.8	.667	-66572.5	42981.7
5	1	-11795.4	27196.8	.667	-66572.5	42981.7	
		2	-17262.4	27196.8	.529	-72039.5	37514.7
		3	-16147.5	27196.8	.556	-70924.6	38629.6
		4	-15867.9	27196.8	.563	-70645	38909.2

Tabel di atas diperoleh dari hasil *software* statistik yaitu SPSS. Dari hasil perbandingan berganda, diperoleh informasi bahwa kelima macam perlakuan memberikan rata-rata tegangan berbeda. Urutan ketebalan yang paling optimum adalah 5 < 1 < 4 < 3 < 2. Perlakuan ke-2 yaitu ketebalan pipa dengan prosentase 20 mm memberikan efek yang paling signifikan terhadap tegangan yang dihasilkan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan antara lain sebagai berikut :

- Ketebalan insulasi multilayer memiliki pengaruh terhadap *heatloss* dan tegangan. Semakin besar nilai ketebalan maka nilai *heatloss* semakin kecil tetapi tegangan yang terjadi cukup besar. Sedangkan nilai ketebalan semakin kecil maka nilai *heatloss* semakin besar tetapi tegangan yang terjadi kecil. Pada ketebalan minimum (15 mm) terjadi *heatloss* sebesar 73,145734 W dan tegangan maksimum sebesar 194780 KPa. Pada ketebalan maksimum (35 mm) terjadi *heatloss* sebesar 40,830874 W dan tegangan maksimum sebesar 200510 KPa. Perhitungan *heatloss* didapatkan dari perhitungan manual dan tegangan didapatkan dari hasil simulasi *software* ANSYS 17.2.
- Pemilihan variasi dengan optimasi menggunakan perhitungan tebal kritis dan metode statistik ANOVA *one-way*. Dari tebal kritis di peroleh ketebalan yang paling optimum 25 mm dengan nilai *heatloss* sebesar 52,898453W dan tegangan maksimum sebesar 196260 KPa.. Dari metode statistik ANOVA *one-way* diperoleh ketebalan yang paling optimum adalah 20 mm dengan nilai *heatloss* sebesar 60,532822 W dan tegangan maksimum sebesar 196160 KPa. Pemilihan tersebut lebih mengrobankan nilai *heatloss* dikarenakan pada penelitian ini bertujuan untuk mengurangi tegangan jadi ketebalan yang dipilih adalah 20 mm.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya. Pihak yang dimaksud adalah:

1. Dr. Muhammad Anis Mustaghfirin, S.T., M.T selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan, bimbingan dan motivasi.
2. Muhammad Shah, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan, bimbingan dan motivasi.

3. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan materi, kasih sayang dan doa.
4. Kakek yang telah memberi semangat dan dukungan.
5. Teman-teman seperjuangan Teknik Perpipaan 2015 yang telah memberi semangat dan kebersamaan.
6. Kakak Senior Teknik Perpipaan yang telah membagikan pengalaman serta dukungan.

6. PUSTAKA

- [1] Alam, D., Sidi, P., & Mahardhika, P. (2015). STUDI PENGARUH BENDING TERHADAP THICKNESS COAT 3-LAYER POLYETHYLENE PADA LETANG, TENGAH, DAN RAWA OPTIMAZION PIPELINE PROJECT ., 67.
- [2] ASME. (2005). ASME B31.8-2003: Gas Transmission and Distribution Piping Systems. *American Society of Mechanical Engineers*, 552(1), 1–194. <https://doi.org/10.1520/G0154-12A>
- [3] ASME. (2012). ASME B31.4 Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries. *American Society of Mechanical Engineers*, 552, 140.
- [4] Aththar, M. R., Santoso, Mardi, S.T., M. E. s., & Indartono, Ir Arie, M. M. (2017). ANALISA TEGANGAN SISTEM PERPIPAAN PADA JALUR METERING SAMPAI TANKI TB-T 01, TB-T 02, TB-T 03, 1–6.
- [5] Bai, Y., & Bai, Q. (2005). *Subsea Pipelines And Risers*.
- [6] Basuki A T. (2017). Analisis of Varians, 1–33.
- [7] Holman, J. P. (2010). Heat Transfer.McGraw Hill. <https://doi.org/10.1115/1.3246887>
- [8] Marcelina, I., Dewi, S., Rochani, I., & Supomo, H. (2007). STUDI PERBANDINGAN LAJU KOROSI DENGAN VARIASI CACAT COATING PADA PIPA API 5L GRADE X65 DENGAN MEDIA KOROSI NaCl.
- [9] Paddiyatu, F. (2011). Analisis Piping, 8–67.
- [10] Reynolds, W. C., & Henry, C. (1983). ENGINEERING THERMODYNAMICS BY.
- [11] Vedeld, K., Sollund, H. A., Fyrileiv, O., Collberg, L., & Aamlid, O. (2018). Effective axial force in multi-layered cylinders with applications to insulated offshore pipelines. *Engineering Structures*, 172(April), 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.013>