

Analisis Pengaruh Penggunaan Insulasi Composite *Fibreglass* Pada Pipa Penyalur Panas Bumi

DEDI SURYADI, SAFTIAN MARDI

ABSTRACT

Geothermal energy is one of the renewable energy sources that can be used to meet human needs. In order to distribute heat energy, a piping system is required. However, some heat escapes through the pipe's walls when this heat energy flows. Therefore, insulation is required to prevent heat from escaping through the pipe walls. Fiberglass composite is one material that can be used as an insulation material. Composite fiberglass has advantages including good mechanical properties, heat resistance, and fiberglass also has a low price. This study investigates the effects of using fiberglass composite insulation on pipes that are subjected to a high-temperature load. The finite element method is used in this analysis. An axisymmetric model is implemented on the pipe and insulation models. Insulation is modeled by varying the thickness of the composite fiberglass insulation, contact length, and fitting ratio (δ/d). The pipe is made of carbon steel, while the insulation is made of composite fiberglass. The temperature load on the pipe is 183 degrees Celsius. The results show that fiberglass composite affects the temperature on the insulation surface. The temperature of the insulation surface decreases by increasing the thickness of the insulation. Also, the contact stress increases by increasing the thickness of the insulation.

Keywords: Geothermal, Insulation, Temperature, Thermal Stress

PENDAHULUAN

Piping merupakan suatu sistem yang digunakan untuk melakukan transportasi fluida kerja (cair atau gas) antar peralatan (*equipment*) dalam suatu pabrik (*plant*) atau dari suatu tempat ke tempat yang lain sehingga proses produksi tetap berlangsung (Paolacci dkk, 2014). Dalam industry geothermal, sering terjadi kehilangan energi panas melalui dinding pipa pada saat mengalirkan fluida (Kawashima dkk, 2012). Oleh karena itu, diperlukan insulasi untuk menahan kalor agar tidak keluar dari dinding-dinding pipa (Husen dkk, 2018).

Insulasi sendiri berfungsi untuk mempertahankan kalor, meminimalisir kehilangan kalor dan menjaga suhu tetap konstan selama operasi berlangsung.

Kemampuan dari suatu *insulasi* dapat diukur dengan melihat nilai konduktivitas termal dari suatu material *insulasi* tersebut (Rachman dan Permatasari, 2018) (Noda dkk, 2015). Material komposit memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah dan cocok untuk dijadikan sebagai bahan *insulasi*. Material komposit memiliki sifat fisik dan sifat mekanik yang baik, di mana material komposit tahan terhadap kompresi, keausan dan biaya produksi material komposit yang relative rendah. Material komposit juga ramah lingkungan dan tidak beracun (Milosevic, 2016).

Salah satu material komposit yang cocok digunakan sebagai bahan *insulasi* adalah *composite fibre glass* (Sotoodeh, 2018). *Fibre glass* merupakan salah satu serat sintetis yang dapat diperoleh dengan mudah di pasaran. *Fibreglass* memiliki beberapa kelebihan yaitu

memiliki sifat mekanik yang baik dan *fibreglass* juga tahan terhadap panas (Pardi, 2015). *Fibre glass* ini juga memiliki nilai ekonomi yang terjangkau sehingga bahan dari *fibre glass* dapat diperoleh di mana saja (Kumar dkk, 2018).

Pada penelitian ini menggunakan *insulasi composite fibre glass*. Pada pipa ini mengalirkan fluida dengan temperature yang

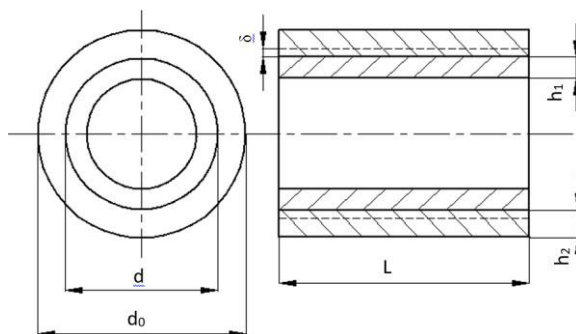
besar dan sangat cepat sehingga menimbulkan tegangan *thermal*, maka dari itu perlu dilakukan analisis tegangan *thermal*. Pada penelitian Naji dkk (2019) menggunakan *insulasi composite* hanya untuk melilit pipa tembaga dan untuk mengetahui kinerja termal dari komposit. Pada penelitian tersebut tidak membahas tentang pengaruh tebal *insulasi composite fibre glass* dan panjang *contact* sentuhan antara pipa dan *insulasi composite fibre glass* terhadap tegangan pada *contact* dan *temperature surface*. Pada penelitian ini akan membahas tentang pengaruh ketebalan *insulasi composite fibre glass* dan panjang *contact* sentuhan antar pipa dengan *insulasi composite fibre glass* terhadap tegangan *contact* dan *temperature surface*.

METODOLOGI

Dimensi dan Material

Dimensi pipa dan insulasi dimodelkan dengan silinder ganda seperti yang disajikan pada Gambar 1. Silinder dalam merupakan pipa,

sedangkan silinder luar merupakan insulasi. Pada penelitian ini menggunakan variasi ketebalan *insulasi* dan panjang *contact* (L). Diameter *contact* pipa (d) yaitu 355,6 mm. Diameter *insulasi composite fibre glass* (d₀) yaitu 455,6 mm.



Gambar 1. Geometri pipa dan Insulasi Composite Fibre Glass

Pada penelitian, material pipa yang digunakan yaitu *carbon steel schedule 80* dengan standar pipa ASME (SA-53), sedangkan material *insulasi* adalah *composite fibre glass*. Beberapa propertis material *carbon steel* dan *composite fibre glass* disajikan pada Tabel 1 (Sotoodeh, 2018), (Dey dkk, 2010).

Tabel 1. Material Properties

No.	Material Properties	Carbon Steel	Composite Fibre Glass
1.	Density (Kg/m ³)	7850	0,258
2.	Young Modulus (GPa)	20,1	72,3
3.	Thermal Conductivity (W/m.K)	25	0,01
4.	Thermal Expansion Coefficient (1/°K)	0,025 x 10 ⁻⁶	0,0197 x 10 ⁻⁶
5.	Specific Heat (J/Kg.K)	425	840
7.	Poisson Ratio	0,29	0,2

Fitting Ratio (δ/d)

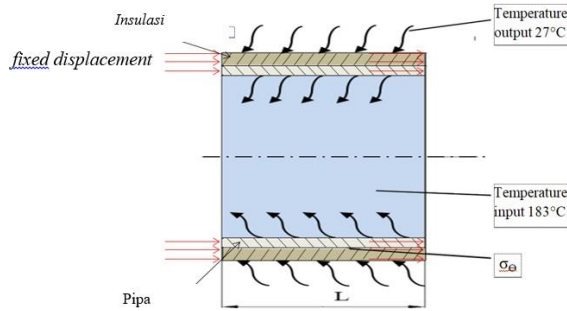
Pada penelitian ini, analisa tegangan menggunakan keketatan sambungan yang didefinisikan dengan (δ/d). keketatan sambungan disimbolkan dengan (δ) dan diameter *contact* disimbolkan dengan (d). Nilai variasi *fitting ratio* (δ/d) yaitu 0 – 5 x 10⁻⁴ dengan selisih *range* 1 x 10⁻⁴. Nilai variasi *fitting ratio* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan *Fitting Ratio*.

No.	δ/d	d (mm)	δ (mm)
1.	0 x 10 ⁻⁴	355,6	0
2.	1 x 10 ⁻⁴	355,6	0,03556
3.	2 x 10 ⁻⁴	355,6	0,07112
4.	3 x 10 ⁻⁴	355,6	0,10668
5.	4 x 10 ⁻⁴	355,6	0,14224
6.	5 x 10 ⁻⁴	355,6	0,1778

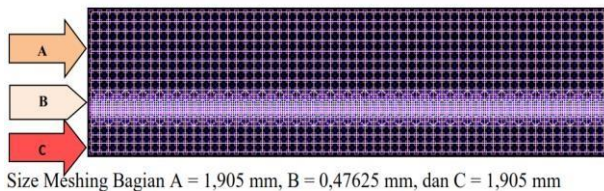
Kondisi Batas

Initial condition pada penelitian ini diberikan temperatur awal 25°C. Beban temperature di dalam pipa sebesar 183°C. Temperatur di luar pipa dan *insulasi composite fibre glass* adalah sebesar 27°C. Kondisi batas pada pipa dan *insulasi composite fibre glass* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kondisi Batas Pada Pipa dan Insulasi Composite Fibre Glass.

Gambar 2 menunjukkan kondisi batas pada pipa dengan *insulasi composite fibre glass*. Diameter pipa (d) yang digunakan adalah 355,6 mm. Variasi ketebalan *insulasi composite fibre glass* (d_0) yaitu 10 mm sampai 100 mm dengan range ketebalan 10 mm. Variasi panjang *contact* adalah 250 mm, 300 mm dan 350 mm. Prosedur penyelesaian analisa menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga. *Meshing* geometri pipa dengan *insulasi composite fibre glass* terlihat pada Gambar 3.



Size Meshing Bagian A = 1,905 mm, B = 0,47625 mm, dan C = 1,905 mm

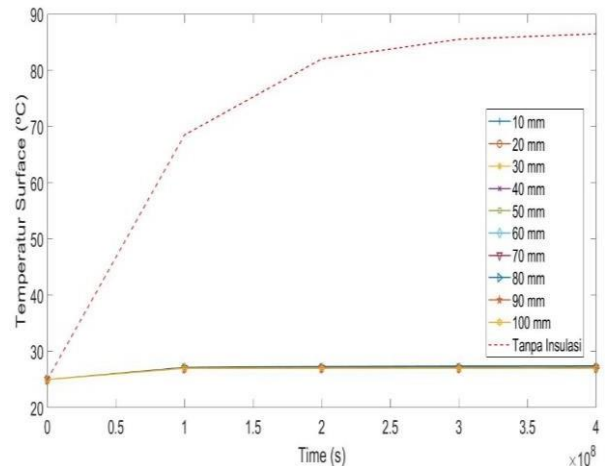
Gambar 3. Meshing Geometri Pipa Dengan Insulasi Composite Fibre Glass.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Temperatur Surface

Hasil analisis adalah temperatur *surface steady* pada pipa dengan *insulasi composite fibre glass*. Variasi tebal *insulasi composite fibre glass* 10 mm sampai 100 mm (solid). Pengambilan data dilakukan saat temperatur pipa dengan *insulasi composite fibre glass* pada kondisi *steady*. Distribusi temperatur sampai kondisi *steady* membutuhkan waktu tertentu. Pengambilan data dapat dilakukan saat temperatur telah bekerja selama $1,6 \times 10^9$ detik untuk kondisi *steady*. Pengambilan data penelitian ini dilakukan pada waktu 10×10^9 detik. Pada analisis ini didapatkan hasil temperatur *surface* di mana pada penelitian ini menggunakan variasi ketebalan *insulasi* dan

tanpa *insulasi*. Perbandingan nilai temperatur *surface* terlihat pada Gambar 4.

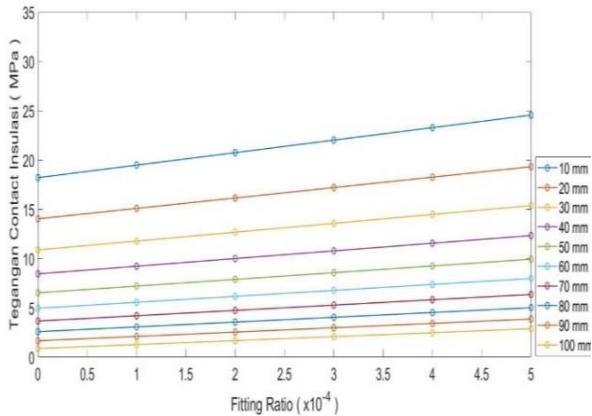


Gambar 4. Temperatur Surface.

Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai temperatur *surface* pada setiap variasi ketebalan dari *insulasi composite fibre glass* berbeda-beda. Untuk nilai temperatur *surface* pipa tanpa *insulasi* mengalami kenaikan yang sangat tinggi. Sedangkan pada pipa yang dilapisi *insulasi composite fibre glass* mengalami kenaikan temperatur yang sedikit, dikarenakan *insulasi composite fibre glass* sebagai penghambat laju perpindahan panas dari temperatur dalam pipa ke temperatur luar pipa (temperatur *surface*). Di mana pada penelitian ini semakin tebal *insulasi composite fibre glass* maka semakin menurun nilai temperatur *surface*.

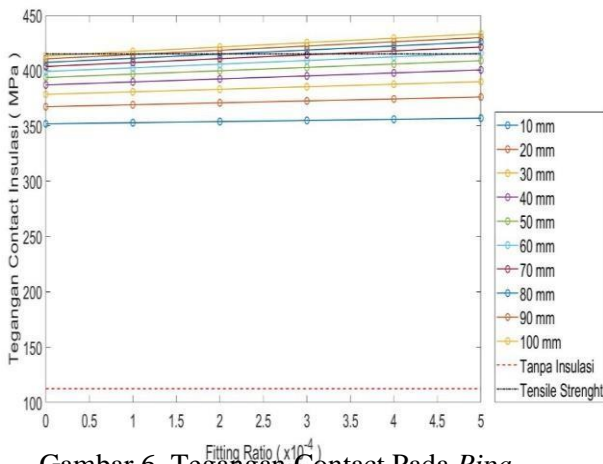
Pengaruh Tebal Insulasi Composite Fibre Glass (h_2) Terhadap Tegangan Contact pada Panjang Kontak (L) 250 mm

Pada penelitian ini juga memvariasikan *fitting ratio* dan panjang *contact* sentuhan antara pipa dengan *insulasi composite fibre glass*. Di mana *fitting ratio* yang digunakan yaitu 0 sampai 5×10^{-4} dengan selisih range 1×10^{-4} . Variasi tebal *insulasi composite fibre glass* (h_2) yang digunakan yaitu 10 mm sampai 100 mm dengan range ketebalan 10 mm. Variasi ketebalan ini digunakan untuk menentukan *fitting ratio* optimal dan ketebalan optimal dari *insulasi composite fibre glass*. Tegangan *contact* terjadi di *contact* pipa dan *insulasi composite fibre glass*. Tegangan *contact* pada *insulasi composite fibre glass* terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tegangan Contact Pada Insulasi Composite Fibre Glass.

Gambar 5 menunjukkan pengaruh *fitting ratio* terhadap tegangan *contact* di *insulasi composite fibre glass*. Tegangan *contact insulasi composite fibre glass* tertinggi terjadi pada *fitting ratio* (δ/d) 5×10^{-4} dan ketebalan *insulasi composite fibre glass* 10 mm. Tegangan *contact* minimum yaitu pada ketebalan *insulasi composite fibre glass* 100 mm dengan *fitting ratio* (δ/d) sama dengan 0. Tegangan *contact* pada pipa terlihat pada Gambar 6.



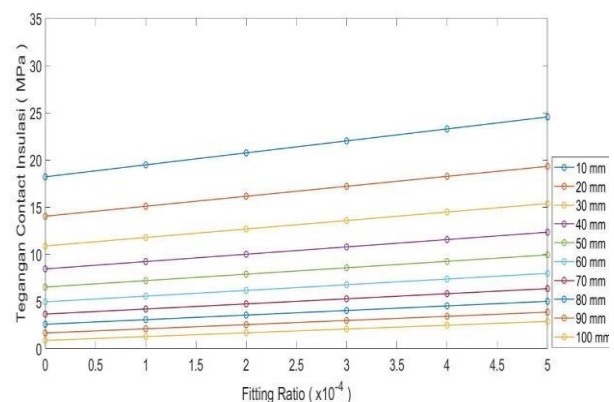
Gambar 6. Tegangan Contact Pada Pipa.

Tensile strenght carbon steel adalah 415 MPa. Gambar 6 menunjukkan perbandingan nilai tegangan dari variasi ketebalan *insulasi composite fibre glass*. Dapat dilihat pada gambar tegangan terkecil terjadi pada pipa tanpa *insulasi composite fibre glass*. Ketebalan maksimum pada *insulasi composite fibre glass* yaitu 100 mm dengan *fitting ratio* optimal pada sambungan yaitu sama dengan 0. *Fitting ratio* maksimum pada analisis ini yaitu pada ketebalan *insulasi composite fibre glass* 50

mm dengan *fitting ratio* optimal yaitu 5×10^{-4} . Tegangan *contact* harus berada di bawah nilai *tensile strength* dari material pipa untuk mencegah kegagalan pada sambungan. Apabila tegangan *contact* pipa melebihi nilai *tensile strength* maka akan terjadi kegagalan pada system perpipaan.

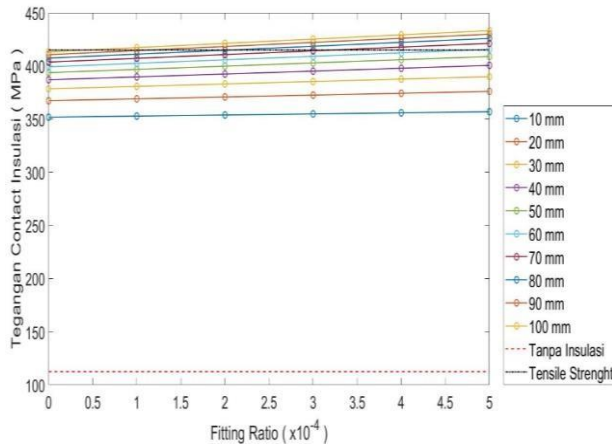
Pengaruh Tebal Insulasi Composite Fibre Glass (h_2) Terhadap Tegangan Contact pada panjang *contact* (L) 300 mm

Pada penelitian ini juga memvariasikan *fitting ratio* dan panjang *contact* sentuhan antara pipa dengan *insulasi composite fibre glass*. Di mana *fitting ratio* yang digunakan yaitu 0 sampai 5×10^{-4} dengan selisih *range* 1×10^{-4} . Variasi tebal *insulasi composite fibre glass* (h_2) yang digunakan yaitu 10 mm sampai 100 mm dengan *range* ketebalan 10 mm. Variasi ketebalan ini digunakan untuk menentukan *fitting ratio* optimal dan ketebalan optimal dari *insulasi composite fibre glass*. Tegangan *contact* terjadi di *contact* pipa dan *insulasi composite fibre glass*. Tegangan *contact* pada *insulasi composite fibre glass* terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Tegangan Contact Pada Insulasi Composite Fibre Glass

Gambar 7 menunjukkan pengaruh *fitting ratio* terhadap tegangan *contact* di *insulasi composite fibre glass*. Tegangan *contact insulasi composite fibre glass* tertinggi terjadi pada *fitting ratio* (δ/d) 5×10^{-4} dan ketebalan *insulasi composite fibre glass* 10 mm. Tegangan *contact* minimum yaitu pada ketebalan *insulasi composite fibre glass* 100 mm dengan *fitting ratio* (δ/d) sama dengan 0. Tegangan *contact* pada pipa terlihat pada Gambar 8.

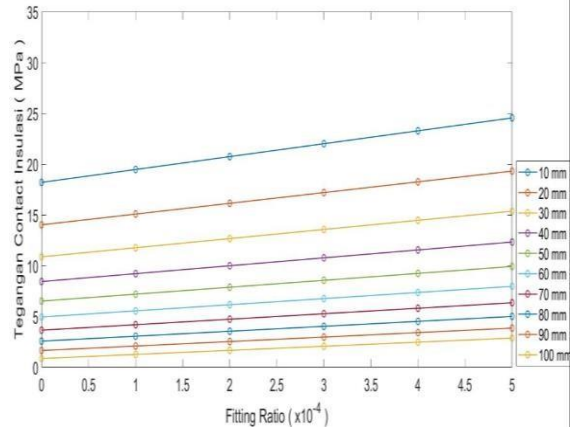


Gambar 8. Tegangan Contact Pada Pipa.

Tensile strength carbon steel adalah 415 MPa. Gambar 8 menunjukkan perbandingan nilai tegangan dari variasi ketebalan insulasi composite fibre glass. Dapat dilihat pada gambar tegangan terkecil terjadi pada pipa tanpa insulasi composite fibre glass. Ketebalan maksimum pada insulasi composite fibre glass yaitu 100 mm dengan fitting ratio optimal pada sambungan yaitu sama dengan 0. Fitting ratio maksimum pada analisis ini yaitu pada ketebalan insulasi composite fibre glass 50 mm dengan fitting ratio optimal yaitu 5×10^{-4} . Tegangan contact harus berada di bawah nilai tensile strength dari material pipa untuk mencegah kegagalan pada sambungan. Apabila tegangan contact pipa melebihi nilai tensile strength maka akan terjadi kegagalan pada system perpipaan.

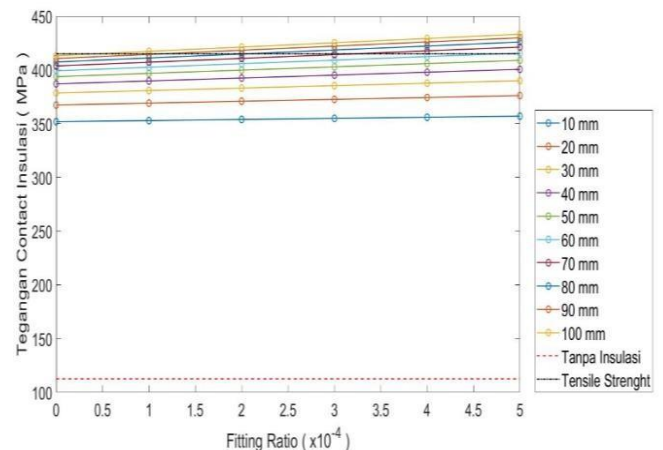
Pengaruh Tebal Insulasi Composite Fibre Glass (h_2) Terhadap Tegangan Contact pada panjang contact (L) 350 mm

Pada penelitian ini juga memvariasikan fitting ratio dan panjang contact sentuhan antara pipa dengan insulasi composite fibre glass. Di mana fitting ratio yang digunakan yaitu 0 sampai 5×10^{-4} dengan selisih range 1×10^{-4} . Variasi tebal insulasi composite fibre glass (h_2) yang digunakan yaitu 10 mm sampai 100 mm dengan range ketebalan 10 mm. Variasi ketebalan ini digunakan untuk menentukan fitting ratio optimal dan ketebalan optimal dari insulasi composite fibre glass. Tegangan contact terjadi di contact pipa dan insulasi composite fibre glass. Tegangan contact pada insulasi composite fibre glass terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Tegangan Contact Pada Insulasi Composite Fibre Glass.

Gambar 9 menunjukkan pengaruh fitting ratio terhadap tegangan contact di insulasicomposite fibre glass. Tegangan contact insulasi composite fibre glass tertinggi terjadi pada fitting ratio (δ/d) 5×10^{-4} dan ketebalan insulasi 10 mm. Tegangan contact minimum yaitu pada ketebalan insulasi composite fibre glass 100 mm dengan fitting ratio (δ/d) sama dengan 0. Tegangan contact pada pipa terlihat pada Gambar 10.



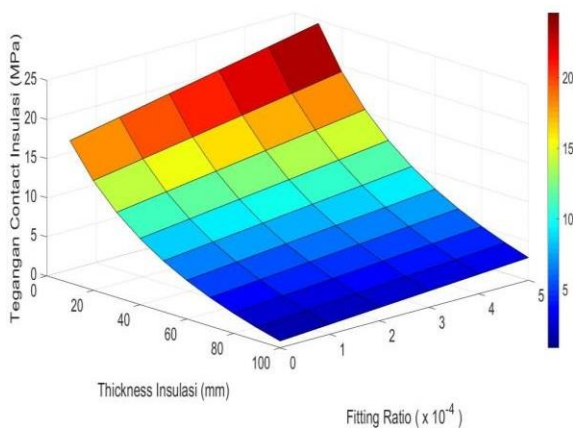
Gambar 10. Tegangan Contact Pada Pipa.

Tensile strength carbon steel adalah 415 MPa. Gambar 10 menunjukkan perbandingan nilai tegangan dari variasi ketebalan insulasi composite fibre glass. Dapat dilihat pada gambar tegangan terkecil terjadi pada pipa tanpa insulasi composite fibre glass. Ketebalan maksimum pada insulasi composite fibre glass yaitu 100 mm dengan fitting ratio optimal pada sambungan yaitu sama dengan 0. Fitting ratio maksimum pada analisis ini yaitu pada ketebalan insulasi composite fibre glass 50 mm dengan fitting ratio optimal yaitu 5×10^{-4} . Tegangan contact harus berada di bawah nilai

tensile strength dari material pipa untuk mencegah kegagalan pada sambungan. Apabila tegangan *contact* pipa melebihi nilai *tensile strength* maka akan terjadi kegagalan pada system perpipaan.

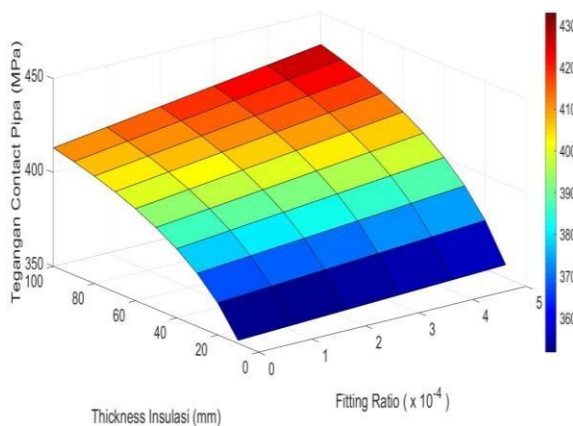
Pengaruh Tebal Insulasi Composite Fibre Glass Terhadap Fitting Ratio

Pengaruh tebal *insulasi composite fibre glass* pada model dengan variasi tebal *insulasi* yaitu 10 mm sampai 100 mm. Tebal pipa yang digunakan pada pemodelan ini adalah 19 mm. Tegangan *contact* terjadi di sepanjang *contact* antara *pipa* dan *insulasi composite fibre glass*. Tegangan *contact insulasi* terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Tegangan *Contact* Pada *Insulasi*

Gambar 11 menjelaskan tegangan *contact insulasi composite fibre glass* terhadap *fitting ratio* dengan variasi tebal *insulasi*. Panjang *contact* yang digunakan adalah 250 mm. Dapat dilihat pada grafik semakin tebal *insulasi composite fibre glass* maka semakin rendah tegangan *contact* yang terjadi. Tegangan *contact* pada pipa terlihat pada Gambar 12.

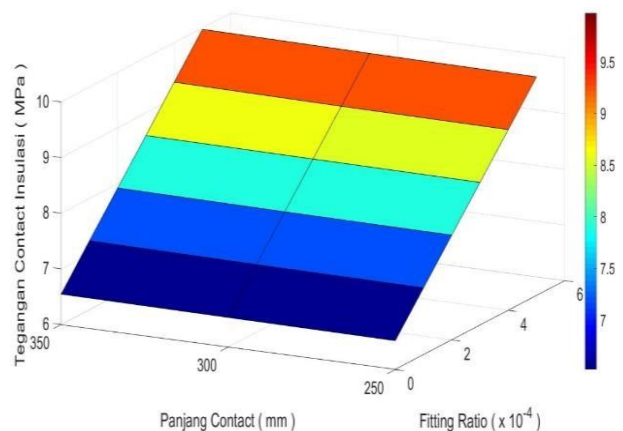


Gambar 12. Tegangan *Contact* Pada *Pipa*

Gambar 12 menunjukkan bahwa semakin tebal *insulasi composite fibre glass* pada sambungan maka semakin besar nilai tegangan *contact* pipa pada *fitting ratio* 0×10^{-4} sampai 5×10^{-4} . Panjang *contact* yang digunakan yaitu 250 mm. Pada tebal *insulasi* 100 mm terjadi kenaikan tegangan *contact* pipa disebabkan oleh tingginya *fitting ratio* dan temperature input.

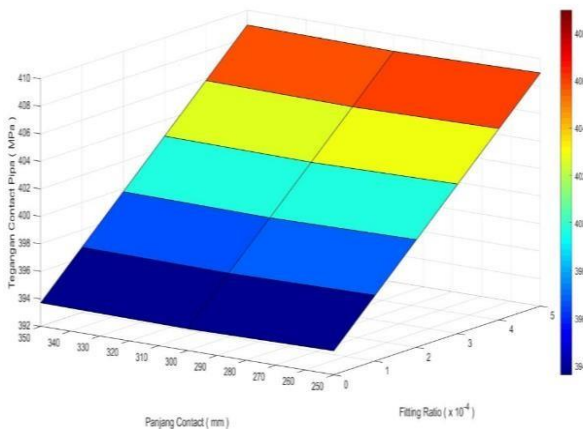
Pengaruh Panjang Kontak Terhadap Fitting Ratio

Variasi panjang kontak pada pemodelan yaitu 250 mm, 300 mm, dan 350 mm. Tegangan *contact* pada pipa dan *insulasi composite fibre glass* dipengaruhi oleh *fitting ratio* pada variasi panjang *contact*. Tegangan *contact* pada *insulasi composite fibre glass* terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Tegangan *Contact* Pada *Insulasi Composite Fibre Glass*

Gambar 13 menunjukkan bahwa panjang *contact* sentuhan 250 mm, 300 mm, dan 350 mm mengalami perubahan nilai tegangan *contact* yang sedikit pada *insulasi composite fibre glass*. Perubahan nilai tegangan *contact insulasi composite fibre glass* ini dikarenakan temperature input yang konstan. Tegangan *contact* pada pipa terlihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Tegangan Contact Pada Pipa.

Gambar 14 menunjukkan bahwa panjang *contact* sentuhan 250 mm, 300 mm, dan 350 mm mengalami perubahan nilai tegangan *contact* yang sedikit pada pipa. Perubahan nilai tegangan *contact* pipa ini dikarenakan temperature input yang konstan.

KESIMPULAN

Hasil analisis struktur pipa dan *insulasi composite fibre glass* yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Ketebalan dari *insulasi* sangat mempengaruhi nilai tegangan kontak pipa dan insulasi. Semakin tebal *insulasi composite fibre glass* maka nilai tegangan *contact* pipa akan meningkat, dan nilai tegangan *contact insulasi* akan menurun.
2. Penggunaan insulasi *composite fiberglass* terbukti efektif bisa menahan energi panas yang hilang melalui dinding pipa. Ketebalan dari *insulasi* sangat mempengaruhi nilai temperatur *surface*, di mana semakin tebal *insulasi composite fibre glass* maka nilai temperatur *surface* akan menurun.

DAFTAR PUSTAKA

Dey, S. K., & Xanthos, M. (2010). Glass Fibers. *Functional Fillers for Plastics*, 21(19), 141–162.

Husen, A., dkk. (2018). Analisis tegangan pipa pada sistem instalasi perpipaan geothermal di proyek x. *Bina Teknika*, 14(1), 63–77.

Kawashima, K., Kanai, S., & Date, H. (2012). Automatic recognition of piping system from large-scale terrestrial laser scanned point cloud. *Seimitsu Kogaku Kaishi/Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, 78(8), 722–729.

Milosevic, M. (2016). Polymerization mechanics of dental composites-advantages and disadvantages. *Procedia Engineering*, 149, 313–320.

Mohan Kumar, S., dkk. (2018). Development of E-Glass Woven Fabric / Polyester Resin Polymer Matrix Composite and Study of Mechanical Properties. *Materials Today: Proceedings*, 5(5), 13367–13374.

Naji, A.M., dkk. (2019). Heat Transfer Efficiency of Different Composite Insulators. *Iraq Journal*, 15(4), 89-102

N.A. Noda, D. Suryadi, S. Matsuda, Y. Takase and Y. Sano (2015). Proposal for New Hearth Roller Consisting of Ceramic Sleeve and Steel Shafts Used in the Heat Treat Furnace, *ISIJ International*, Vol. 55, No. 11, pp. 2416.2425.

Paolacci, F., dkk. (2014). Seismic design criteria of refinery piping systems. *Metallikes Kataskeves (Steel Structures)*, 13056.

Pardi, R. (2015). The use of composite materials alternative fiberglass (coco fibers & rags) on fiberglass ship in traditional shipyards bengkalis regency. *KAPAL*, 12(3), 121–132.

Rachman, R. F., & Permatasari, R. (2018). Analisis aliran fluida dan insulasi aliran pipa bawah laut menggunakan pipesim. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 13(1), 21–27.

Sotoodeh, K. (2018). Analysis and Improvement of Material Selection for Process Piping System in Offshore Industry. *American Journal of Mechanical Engineering*, 6(1), 17–26.

PENULIS:

Dedi Suryadi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Bengkulu, Kota Bengkulu.

Email: dedi_suryadi@unib.ac.id

Saftian Mardi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Bengkulu, Kota Bengkulu.