

Analisa Perhitungan *Wall Thickness* terhadap Hasil Pengujian *Hydrotest* pada Pipa *Heating Coil* dengan Material *Stainless Steel* ASTM A312 TP304L

Diwangkoro Kingkin¹⁾ , Hadi Sutanto²⁾

Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas Biosains, Teknologi dan Inovasi
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Jalan Raya Cisauk Lapan, Cisauk, Tangerang, Banten 15345

¹⁾ diwang.metalui07@gmail.com

²⁾ hadi.sutanto@atmajaya.ac.id

Abstrak

Pengujian hydrotest merupakan metode penting dalam memastikan integritas dan ketahanan pipa terhadap tekanan internal sebelum digunakan dalam sistem perpipaan industri. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kesesuaian antara hasil perhitungan ketebalan dinding (*wall thickness*) pipa heating coil berbahan *Stainless Steel* ASTM A312 TP304L dengan hasil pengujian hydrotest. Perhitungan dilakukan berdasarkan standar ASME B31.3 dengan mempertimbangkan tekanan desain, diameter luar pipa, dan faktor keamanan. Pipa yang digunakan memiliki spesifikasi Schedule 20S, yang dikenal memiliki ketebalan dinding relatif tipis. Pengujian hydrotest dilakukan dengan tekanan 1,5 kali dari tekanan kerja maksimum untuk mengevaluasi potensi kebocoran dan deformasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perhitungan *wall thickness* yang sesuai standar mampu menjamin keberhasilan pengujian hydrotest tanpa terjadi kebocoran atau kerusakan struktural. Temuan ini memperkuat pentingnya validasi desain melalui simulasi perhitungan sebelum implementasi fisik, serta memberikan rekomendasi teknis untuk pemilihan material dan ketebalan pipa dalam aplikasi heating coil bertekanan.

Kata Kunci: Wall Thickness, Hydrotest, Heating Coil, Stainless Steel 304L, ASME B31.3

Abstract

Hydrotest is an essential method for ensuring the integrity and durability of pipes against internal pressure before being used in industrial piping systems. This study aims to analyze the correlation between wall thickness calculations of heating coil pipes made from Stainless Steel ASTM A312 TP304L and the results of hydrotest procedures. The calculations are based on the ASME B31.3 standard, taking into account design pressure, outer pipe diameter, and safety factors. The pipe used has a Schedule 20S specification, which is known for its relatively thin wall thickness. The hydrotest was conducted at 1.5 times the maximum working pressure to evaluate potential leakage and deformation. The results show that wall thickness calculations that comply with the standard can ensure successful hydrotesting without leakage or structural damage. These findings reinforce the importance of design validation through simulation before physical implementation and provide technical recommendations for material selection and pipe thickness in pressurized heating coil applications.

Keywords: Wall Thickness, Hydrotest, Heating Coil, Stainless Steel 304L, ASME B31.3

I. PENDAHULUAN

Sistem perpipaan merupakan komponen vital dalam berbagai sektor industri, terutama dalam proses pemanasan fluida menggunakan *heating coil*. Keandalan pipa dalam menahan tekanan internal sangat bergantung pada ketebalan dinding pipa serta kualitas material yang digunakan. Salah satu metode yang umum digunakan untuk memastikan integritas pipa sebelum dioperasikan adalah pengujian *hydrotest*, yaitu pengujian tekanan dengan menggunakan media cair untuk mendeteksi kebocoran dan memastikan kekuatan struktural dari suatu sistem pipa tersebut.

Material *Stainless Steel* ASTM A312 TP304L banyak digunakan dalam aplikasi *heating coil* karena memiliki ketahanan korosi yang baik, kemampuan kerja pada suhu tinggi, serta sifat mekanik yang stabil. Material ini juga memenuhi standar sanitasi dan ketahanan kimia, menjadikannya ideal untuk sistem perpipaan yang beroperasi dalam lingkungan agresif. Namun, meskipun materialnya berkualitas tinggi, pemilihan ketebalan dinding yang tidak tepat dapat menyebabkan risiko kegagalan sistem, seperti kebocoran atau keruntuhan akibat tekanan berlebih. Namun, pemilihan ketebalan dinding pipa yang tepat menjadi faktor krusial dalam menjamin keselamatan dan efisiensi operasional. Perhitungan *wall thickness* dilakukan berdasarkan standar perancangan seperti ASME B31.3, yang mempertimbangkan tekanan desain, diameter pipa, dan faktor keamanan.

Pengujian *hydrotest* adalah salah satu metode krusial dalam memastikan integritas struktural dan ketahanan pipa terhadap tekanan internal sebelum dioperasikan dalam sistem perpipaan industri. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kesesuaian antara hasil perhitungan ketebalan dinding (*wall thickness*) pipa *heating coil* berbahan *Stainless Steel* ASTM A312 TP304L dengan hasil aktual dari pengujian *hydrotest*. Perhitungan ketebalan dilakukan berdasarkan standar ASME B31.3, dengan mempertimbangkan parameter teknis seperti tekanan desain, diameter luar pipa, dan faktor keamanan. Objek penelitian adalah pipa berukuran 2 inci dengan spesifikasi *Schedule 20S*, yang memiliki ketebalan relatif tipis namun umum digunakan dalam aplikasi pemanas fluida industri. Pengujian *hydrotest* dilakukan dengan memberikan tekanan sebesar 1,5 kali dari tekanan kerja maksimum menggunakan media air, untuk mengevaluasi potensi kebocoran, deformasi, dan kegagalan struktural. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pipa dengan ketebalan yang dihitung sesuai standar mampu menahan tekanan uji tanpa mengalami kebocoran atau kerusakan. Temuan ini mengindikasikan bahwa pendekatan perancangan berbasis standar ASME B31.3 dapat diandalkan dalam menjamin keselamatan dan kinerja sistem *heating coil*. Selain itu, hasil studi ini memberikan kontribusi penting dalam bentuk rekomendasi teknis terkait pemilihan material dan ketebalan pipa yang optimal untuk aplikasi perpipaan bertekanan, khususnya dalam sistem pemanas tangki industri.

Parameter ketebalan pipa (*wall thickness*) memiliki beberapa elemen yang dijadikan sebagai patokan perhitungan dasar. Salah satunya adalah *schedule* pipa dengan diameter pipa yang bagian dalam, karena elemen ini akan sangat menentukan kekuatan pipa ketika menghadapi tekanan dari bagian dalam pipa. Standar yang digunakan untuk mengukur ketebalan pipa adalah *standard American National Standar Institute (ANSI)*. Penghitungan ketebalan pipa ini menjadi sangat penting karena dapat mempengaruhi kinerja pipa tersebut setelah dipasang. Pertimbangan yang digunakan biasanya meliputi kekuatan pipa untuk menghadapi tekanan internal yang bersumber dari aliran di dalam pipa itu sendiri, atau juga kekuatan pipa ketika menghadapi faktor eksternal dari luar pipa selama proses pengoperasian pipa saluran tersebut. Terdapat *standard* tersendiri yang digunakan untuk mengukur ketebalan pipa, yaitu *standard* ASME B 36.10 (*Welded and Seamless Wrought Steel Pipe*) dan ASME B 36.19M (*Stainless Steel Pipe*). Pada penelitian ini menggunakan *standard* ASME B 36.19M karena material yang digunakan yaitu berbahan *Stainless Steel* ASTM A312 TP304L.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara hasil perhitungan ketebalan dinding pipa dengan hasil pengujian *hydrotest* pada pipa *heating coil* berbahan *Stainless Steel* ASTM A312 TP304L dengan spesifikasi *Schedule 20S*. Dengan membandingkan hasil simulasi perhitungan dan

data aktual dari pengujian *hydrotest*, diharapkan dapat diperoleh validasi terhadap metode perancangan yang digunakan serta rekomendasi teknis untuk aplikasi serupa di masa mendatang.

II. METODE

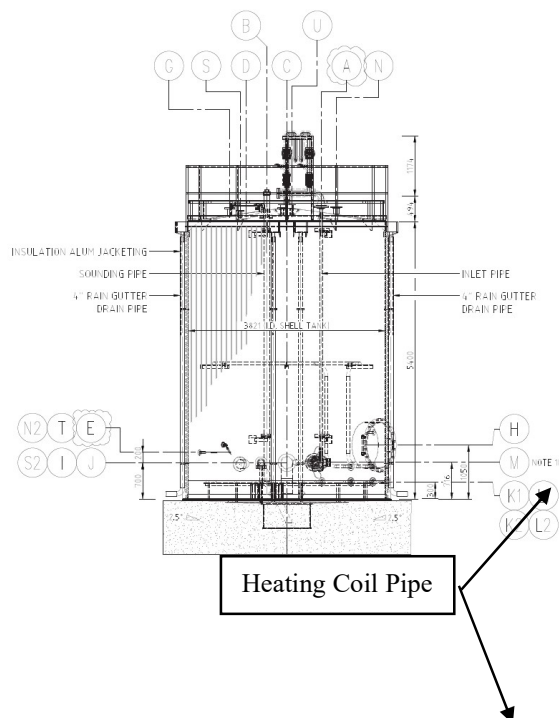
A. Jenis dan Pendekatan Penelitian

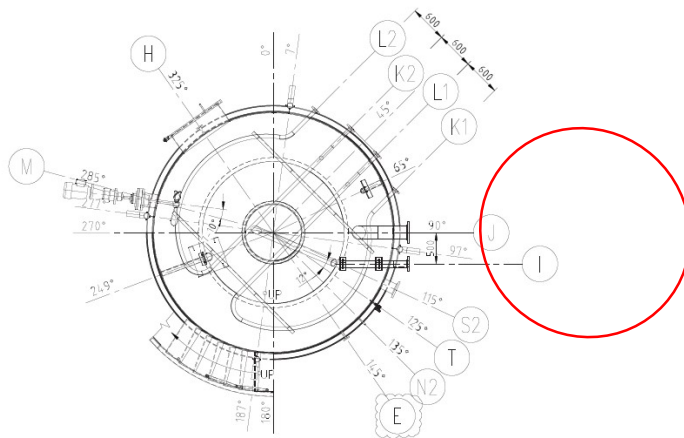
Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimental. Tujuannya adalah untuk menganalisis kesesuaian antara hasil perhitungan ketebalan dinding pipa (*wall thickness*) berdasarkan standar perancangan dengan hasil aktual dari pengujian *hydrotest*.

B. Objek Penelitian

Objek yang diteliti adalah pipa *heating coil* ukuran 2” berbahan *Stainless Steel* ASTM A312 TP304L dengan spesifikasi *Schedule 20S*. Pipa ini digunakan dalam sistem pemanas fluida (*heating coil*) pada instalasi industri yaitu *oleochemical tank*. *Oleochemical* (Oleokimia) adalah industri yang memanfaatkan bahan baku dari minyak atau lemak untuk menghasilkan produk kimia seperti *fatty acids*, *fatty alcohols*, *fatty methyl ester*, *fatty amines* dan gliserol. Bahan baku tersebut diolah melalui proses *splitting* trigliserida menjadi turunan asam-asam lemaknya dan gliserol. Proses tersebut dapat dilakukan secara kimia maupun enzimatis. Keunggulan oleokimia dari petrokimia ialah bahwa oleokimia adalah produk yang terbarukan, biodegradable, lebih aman (tidak beracun). Oleokimia dasar tersebut dapat diproses lebih lanjut menjadi produk akhir yang mempunyai nilai lebih tinggi.

Heating coil adalah sistem pemanas berbentuk pipa yang digunakan untuk menjaga suhu cairan atau bahan dalam tangki tetap stabil dan sesuai kebutuhan proses.





Gambar 1.1 2D Desain *Heating Coil* di dalam *Storage Tank*

Pada gambar 1.1 terlihat gambar *heating coil* di dalam tangki penyimpanan untuk industri oleokimia. Pada desain tangki tersebut menggunakan pemanasan *steam*, sehingga dibutuhkan pipa *heating coil* di dalam tangki. Untuk pemanasan *steam* dibutuhkan *steam inlet* (jalur masuknya fluida *steam*) yaitu nozzle K (K1 & K2) dan *condensate outlet* (yaitu jalur keluarnya *condensate*) yaitu nozzle L (L1 & L2). Panas dari *steam* digunakan untuk memanaskan atau menjaga temperatur fluida yang ada di dalam tangki. *Steam* berubah menjadi *condensate* karena turunnya temperatur, oleh karena itu *condensate* yang berada di dalam tangki dikeluarkan melalui nozzle L. Selain itu terdapat juga *agitator* (posisi di nozzle M), *agitator* adalah perangkat mekanis yang digunakan untuk mencampur, mengaduk, atau menjaga homogenitas suatu zat. *Agitator* tersebut juga diperlukan agar temperatur bahan di dalam tangki bisa merata ke seluruh area.

Berikut penjelasan mengenai fungsi dan manfaat *heating coil pipe* di dalam tangki:

a. Fungsi Utama *Heating Coil*

- Memanaskan isi tangki: *Heating coil* bekerja dengan mengalirkan fluida panas (seperti uap / *steam*) melalui pipa yang terpasang di dalam tangki. Panas dari fluida ini ditransfer ke bahan dalam tangki.
- Menjaga viskositas bahan, sangat penting untuk bahan seperti minyak, aspal, lilin, atau bahan kimia yang bisa mengental atau membeku pada suhu rendah. Dalam kasus ini yang dipanaskan adalah minyak CPO (*Crude Palm Oil*).
- Mencegah kristalisasi atau solidifikasi: *Heating coil* membantu menjaga bahan tetap dalam fase cair agar mudah dipompa atau diproses.
- Mengurangi kehilangan panas: Sistem ini membantu mengkompensasi kehilangan panas dari tangki ke lingkungan sekitar.

b. Komponen dan Cara Kerja

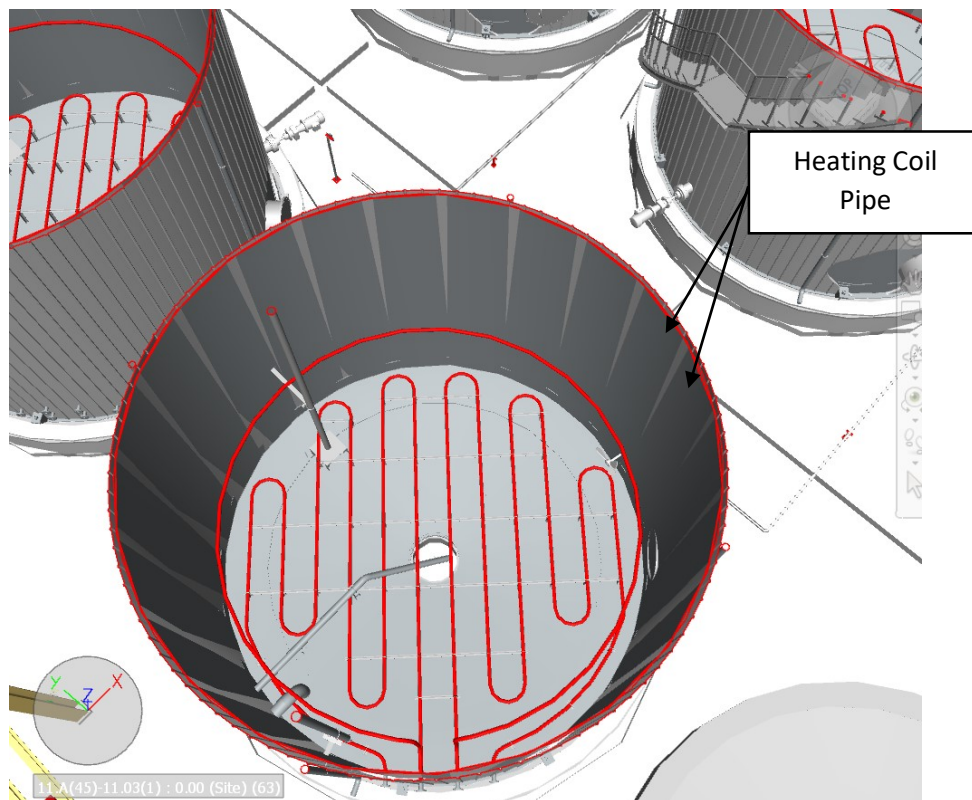
- Pipa logam tahan panas: Biasanya terbuat dari *stainless steel* atau bahan lain yang tahan korosi dan suhu tinggi.
- Fluida pemanas: Uap / *steam* adalah pilihan umum, tetapi air panas atau minyak juga bisa digunakan tergantung kebutuhan industri. Dalam penelitian ini untuk media yang digunakan adalah uap/*steam*.
- Desain *horizontal* atau spiral: Disesuaikan dengan bentuk dan ukuran tangki serta jenis bahan yang disimpan. Panjang *heating coil* juga dihitung untuk kebutuhan panjang pipanya oleh proses.

c. Aplikasi Industri

- Industri makanan dan minuman: Untuk menjaga suhu bahan baku seperti sirup atau minyak.
- Industri kimia dan petrokimia: Untuk bahan kimia yang sensitif terhadap suhu.
- Storage tank minyak: Agar bahan tetap bisa dipompa dan dicampur dengan efisien.

d. Keunggulan *Heating Coil Pipe*

- Efisiensi termal tinggi
- Keamanan lebih baik dibanding pemanas langsung
- Mengurangi frekuensi pembersihan tangki karena konveksi termal yang baik.



Gambar 1.2 3D Desain *Heating Coil* di dalam *Storage Tank*

Berikut ini ada *Mill's Inspection Certificate* yang dikeluarkan oleh produsen pipa untuk material *Stainless Steel* ASTM A312 TP304L:

产品质量证明书 MILL'S INSPECTION CERTIFICATE

订货单位:				收货单位:											
CUSTOMER				PURCHASER											
执行标准				产品名称		不锈钢无缝钢管									
EXECUTIVE STANDARD				ASTM A312/ASME SA312		PRODUCT		SEAMLESS STAINLESS STEEL PIPE							
序号 No.	熔炼号 Heat treatment	批号 Batch No.	钢种 Grade	规格 Size	化学成分(%) Chemicals										
					C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	N %			
1	NY230909BG23	7588K	TP304L	SCH. 20S 2" * 6000MM	0.025	0.27	1.18	0.023	0.011	18.46	8.11	0.04			
2	NY230911BG24	7589K	TP304L	SCH. 40S 6" * 6000MM	0.026	0.24	1.19	0.025	0.012	18.44	8.14	0.05			
3	NY230912BG25	7590K	TP304L	SCH. 40S 8" * 6000MM	0.028	0.26	1.15	0.025	0.013	18.36	8.12	0.03			

Gambar 1.3 *Mill's Inspection Certificate*



Gambar 1.4 Material *Heating Coil Pipe*

C. Lokasi dan Waktu

Penelitian dan Pengujian *hydrotest* dilakukan di salah satu proyek oleokimia di Sei Mangkei, Sumatera Utara pada bulan Agustus tahun 2025.

D. Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan melalui dua tahap utama:

a. Perhitungan *Wall Thickness*

Perhitungan *wall thickness pipe* (ketebalan dinding pipa) adalah proses menentukan ketebalan minimum pipa atau tangki agar mampu menahan tekanan internal secara aman sesuai standar teknik dalam hal ini perhitungan dilakukan berdasarkan standar ASME B31.3 untuk sistem perpipaan proses.

Parameter yang digunakan meliputi:

- Tekanan desain (*design pressure*)
- Diameter luar pipa (*outside diameter*)
- Faktor ketebalan (*corrosion allowance, joint efficiency*)
- Tegangan ijin material (*allowable stress*)

Rumus dasar:

$$t = (P \times D) / (2 \times S \times E + P)$$

Keterangan:

- t = ketebalan minimum (mm)
- P = tekanan desain (MPa)
- D = diameter luar pipa (mm)
- S = tegangan ijin material (MPa)
- E = efisiensi sambungan (*joint efficiency*)

b. Pengujian *Hydrotest*

Pengujian *hydrotest* (atau uji hidrostatis) adalah metode pengujian tekanan menggunakan cairan, biasanya air, untuk memastikan kekuatan dan kebocoran pada sistem perpipaan sebelum digunakan secara operasional. Pengujian untuk penelitian ini dilakukan dengan mengisi pipa menggunakan air bersih dan menaikkan tekanan hingga 1,5 kali tekanan kerja maksimum (*Design Pressure*) sesuai dengan standar ASME B31.3.

Parameter yang diamati:

- Tekanan maksimum saat uji
- Kebocoran (*leak test*)
- Deformasi atau kerusakan fisik
- Alat yang digunakan: pompa *hydrotest* manual/otomatis, pressure gauge, dan alat ukur dimensi.

E. Teknik Pengumpulan dan Analisa Data

Data primer diperoleh dari hasil pengujian *hydrotest* dan pengukuran langsung dari pipa *heating coil* yang sudah di pasang di salah satu tangki penyimpanan berkapasitas 250 MT. Data sekunder diperoleh dari spesifikasi teknis pipa (pipa material *Stainless Steel* ASTM A312 TP304L dengan *Schedule* 20S), standar desain (ASME B31.3), dan literatur pendukung.

Analisa Data :

- Data hasil perhitungan dibandingkan dengan hasil aktual pengujian.
- Analisis dilakukan secara deskriptif kuantitatif untuk menilai kesesuaian antara nilai teoritis dan hasil uji lapangan.
- Disimpulkan apakah ketebalan pipa sesuai dengan standar dan mampu menahan tekanan uji tanpa kegagalan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perhitungan *Wall Thickness*

Perhitungan ketebalan minimum dinding pipa dilakukan berdasarkan standar ASME B31.3 dengan parameter sebagai berikut:

- Tekanan desain: 10 bar (1 MPa)
- Diameter luar pipa: 60.3 mm
- Tegangan ijin material (S): 108.9 MPa
- Efisiensi sambungan (E): 1.0
- *Corrosion allowance*: 0 mm (karena material tahan korosi)
- *Design Temperature* : 419 °F
- *Coefficient Y* : 0.4

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa ketebalan minimum yang dibutuhkan adalah sekitar 0.48 mm, sedangkan ketebalan aktual pipa *schedule* 20S adalah 2.99 mm, sehingga pipa memenuhi persyaratan desain dengan margin keamanan yang cukup tinggi.

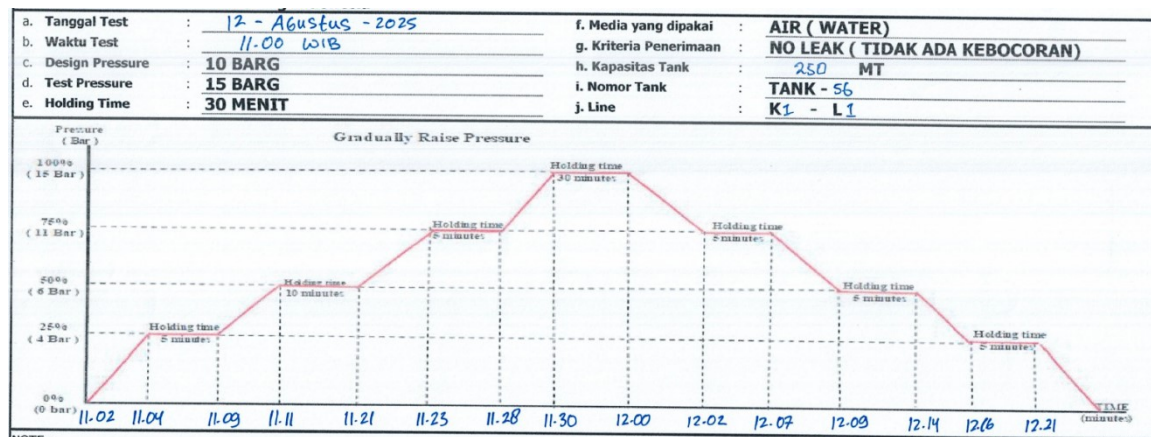
B. Hasil Pengujian *Hydrotest*

Pengujian *hydrotest* dilakukan dengan tekanan uji sebesar 15 bar ($1.5 \times$ tekanan kerja maksimum) selama 30 menit. Hasil pengujian menunjukkan:

- Tidak ditemukan kebocoran pada sambungan maupun badan pipa.
- Tidak terjadi deformasi atau perubahan dimensi.
- Pipa mampu menahan tekanan uji dengan baik.



Gambar 1.5 *Hydrotest Heating Coil* sampai Tekanan 15 Bar



Gambar 1.6 *Hydrotest Report*

C. Pembahasan

Hasil pengujian *hydrotest* menunjukkan bahwa pipa *heating coil* dengan material *Stainless Steel* ASTM A312 TP304L dan spesifikasi *Schedule 20S* memiliki ketahanan yang memadai terhadap tekanan kerja yang dirancang. Ketebalan aktual jauh melebihi ketebalan minimum hasil perhitungan, sehingga memberikan jaminan keamanan tambahan.

Perbedaan antara ketebalan minimum dan ketebalan aktual menunjukkan bahwa pemilihan *Schedule 20S* memberikan konservatisme desain yang baik. Selain itu, keberhasilan pengujian *hydrotest* memperkuat validitas pendekatan perhitungan berdasarkan standar ASME B31.3.

Penelitian ini juga menegaskan pentingnya verifikasi desain melalui pengujian fisik, terutama untuk aplikasi *heating coil* yang beroperasi dalam kondisi suhu dan tekanan tinggi. Kombinasi antara analisis teoritis dan pengujian aktual memberikan dasar yang kuat untuk pemilihan material dan spesifikasi pipa dalam sistem perpipaan industri.

Berikut analisa hasil perhitungan dan pengujian dan juga faktor-faktor yang mempengaruhi hasil.

Korelasi perhitungan vs hasil uji:

- Jika tebal dinding sesuai hasil perhitungan, pipa akan mampu menahan tekanan *hydrotest* tanpa deformasi.
- Jika tebal aktual lebih besar dari minimum, faktor keamanan meningkat.

- Jika tebal aktual lebih kecil, risiko kegagalan meningkat, meskipun mungkin masih lolos hydrotest pada tekanan tertentu.

Faktor yang memengaruhi hasil:

- Variasi manufaktur (toleransi ketebalan pipa).
- Kualitas sambungan las (*joint efficiency*).
- Kondisi permukaan internal (korosi).
- Temperatur saat pengujian (berpengaruh pada sifat mekanik material).

Sesuai dengan standard ASME B31.3 klausa 345.2.2 menyebutkan bahwa minimum *holding time* adalah 10 menit untuk sistem perpipaan logam. Tekanan di dalam pipa dinaikkan bertahap sampai mencapai tekanan uji yaitu 15 Bar. Setelah mencapai tekanan uji, tekanan akan di tahan periode ini disebut dengan *holding time*. Selama periode *holding time*, inspeksi visual dilakukan untuk mendeteksi adanya kebocoran pada sambungan las, *flange* atau *fitting*. Setelah *holding time* selesai, tekanan dapat di turunkan secara bertahap. Walaupun sesuai kode ASME B31.3 menetapkan minimum 10 menit untuk *holding time*, dalam praktik industri sering digunakan *holding time* lebih lama (30 menit atau lebih) untuk memberikan margin keamanan tambahan, terutama pada sistem yang kritis (*critical system / service*) atau bertekanan tinggi. *Holding time* yang lebih panjang juga memberikan kesempatan lebih luas bagi tim inspeksi untuk melakukan pengecekan menyeluruh.

Risiko dan pertimbangan *holding time* :

- *Holding time* terlalu singkat → risiko kebocoran kecil tidak terdeteksi.
- *Holding time* terlalu lama → dapat menyebabkan beban berlebih pada sistem jika ada kelemahan material.
- Oleh karena itu, standar menetapkan minimum 10 menit, tetapi *engineer* dapat menyesuaikan sesuai kondisi lapangan dan kebijakan perusahaan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- Perhitungan ketebalan minimum dinding pipa berdasarkan standar ASME B31.3 menunjukkan bahwa pipa *Schedule 20S* dengan material *Stainless Steel* ASTM A312 TP304L memiliki ketebalan aktual yang jauh melebihi ketebalan minimum yang disyaratkan.
- Pengujian *hydrotest* pada pipa *heating coil* dengan tekanan 1,5 kali tekanan kerja maksimum menunjukkan hasil yang memuaskan, tanpa adanya kebocoran maupun deformasi struktural.
- Terdapat kesesuaian antara hasil perhitungan teoritis dan performa aktual pipa saat diuji, yang membuktikan bahwa metode perhitungan *wall thickness* dapat dijadikan acuan yang andal dalam perancangan sistem perpipaan bertekanan.
- Menentukan *holding time* yang tepat saat *hydrotest* berlangsung dapat mengurangi risiko tidak terdeteksinya kebocoran dan mengurangi risiko kegagalan sistem.

2. Saran

- Dalam perancangan sistem *heating coil*, disarankan untuk tetap mengacu pada standar internasional seperti ASME B31.3 guna menjamin keselamatan dan keandalan sistem atau proses.
- Meskipun hasil perhitungan menunjukkan ketebalan minimum yang kecil, pemilihan pipa dengan ketebalan aktual yang lebih besar (seperti *Schedule 20S*) memberikan margin keamanan tambahan yang penting dalam aplikasi industri.
- Pengujian *hydrotest* sebaiknya tetap dilakukan sebagai langkah verifikasi akhir sebelum instalasi, guna memastikan tidak adanya cacat produksi atau kesalahan fabrikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME. (2020). ASME B31.3: Process Piping. American Society of Mechanical Engineers.
- ASME. (2018). ASME B36.19M : Stainless Steel Pipe.
- ASTM International. (2021). ASTM A312/A312M-21: Standard Specification for Seamless, Welded, and Heavily Cold Worked Austenitic Stainless Steel Pipes. ASTM International.
- Smith, R. (2018). Piping Design Handbook. McGraw-Hill Education.
- API Standard 570 – Piping Inspection Code.
- Ramdja, S. (2007). Pipe Wall Thickness Calculation. PRIMA, Vol. 4, No. 8.
- Khan, R. A. (2022). Pipe Thickness Calculation – What Is Piping.
- Husen, A., Cholis, N., & Setiadi, A. N. (2021). Analisis Tegangan Pipa pada Sistem Instalasi Perpipaan Geothermal di Proyek X. Bina Teknik, UPNVJ.
- ETDEWEB. (2014). Pipe Wall Thickness Calculation; Perhitungan Ketebalan Dinding Pipa.
- Husen, A., & Jamaludin, A. (2020). Analisis Tegangan Sistem Perpipaan pada Sisi Tekan Pompa P-003E Menggunakan Program CAESAR II dan Perhitungan Manual. Presisi, ISTN.