

ANALISA DATA DALAM PROSES PWHT MENGUNAKAN METODE FURNACE DENGAN MATERIAL CARBON PADA *PRESSURE VESSEL* 38 DAN 36 INCH

Muhammad Arul Maulana, Adi Syahputra Purba, S.Pd., M.Si. and Yusuf Nurhuda, S.S.T., M.T.

Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam29461, Indonesia

E-mail: arulmaulana56789@email.com

Abstrak

Pressure vessel adalah suatu wadah tertutup yang dirancang khusus untuk menyimpan fluida, baik gas maupun cairan, dalam kondisi tekanan dan suhu yang tinggi, wadah ini dibuat dari material yang kuat dan tahan terhadap tekanan ekstrem, serta dirancang dan dibangun sesuai dengan standar keselamatan yang ketat. *Pressure vessel* tersedia dalam berbagai bentuk dan ukuran, disesuaikan dengan kebutuhan serta aplikasi di berbagai sektor industri. Biasa *pressure vessel* ini diproduksi pada Perusahaan yang oil dan gas dengan standar ASME BPVC Section VIII – *Rules for Construction of Pressure Vessels* yang diharuskan mampu menahan tekanan *internal* atau *eksternal* dengan tekanan lebih besar dari 15 psi (103 kPa). Metode pengelasan SMAW. Untuk *location* hasil PWHT itu terdapat 12 titik pengujian dengan temperature yang digunakan dalam proses *heating rate* 50°C/HR sampai mencapai *temperature soaking* yang sudah di tentukan lalu masuk ke tahap *cooling rate max* 60°C/HR. Penelitian ini diambil langsung dari pengujian PWHT pada PT X yang menguji pada hasil *stress relieve* LNG *Furnace* untuk menguji apakah perbedaan suhu *atmosfer* bagian dalam pada titik yang di tetapkan (300 °C, 650 °C) berada pada toleransi ± 8 °C atau tidak di zona efektif 12,0 L x 4,5 W x 4,5 H (Meter) untuk *stress relieving*.

Kata kunci: Pressure Vessel, Post Weld Heat Treatment, Furnace, SMAW

Abstract

Pressure vessel is a closed container specifically designed to store fluids, both gases and liquids, under high pressure and temperature conditions, this container is made of strong materials and is resistant to extreme pressure, and is designed and built according to strict safety standards. Pressure vessels are available in various shapes and sizes, tailored to the needs and applications in various industrial sectors. This ordinary pressure vessel is manufactured in oil and gas companies with the ASME BPVC Section VIII standard - Rules for Construction of Pressure Vessels which are required to be able to withstand internal or external pressure with a pressure greater than 15 psi (103 kPa). SMAW welding method. For the location of the PWHT results, there are 12 test points with a temperature used in the heating process at a rate of 50°C / HR until it reaches the specified immersion temperature and then enters the cooldown stage at a maximum rate of 60°C / HR. This research is taken directly from the PWHT test at PT X which tests the results of the LNG Furnace stress relief to test whether the difference in the internal atmospheric temperature at the specified point (300 °C, 650 °C) is within a tolerance of ± 8 °C or not in the effective zone of 12.0 L x 4.5 W x 4.5 H (Meters) for stress relief.

Keywords: Pressure Vessel, Post-Weld Heat Treatment, Furnace, SMAW

1 Pendahuluan

Industri minyak dan gas merupakan sektor yang sangat penting bagi kelangsungan hidup umat manusia baik dalam hal pemenuhan energi maupun proses pembangunan. Pada proses produksi, penyimpanan, ataupun distribusi minyak dan gas banyak menggunakan peralatan yang menggunakan material baja, hal ini tak lepas dari sifat material baja yang memiliki ketahanan tinggi terhadap tekanan serta temperatur yang tinggi.[1] Untuk material yang digunakan yaitu ASTM A694 Kelas F65 adalah baja paduan rendah, yang sering dipilih karena kemampuan luluh tinggi yang dipadukan dengan ketangguhan suhu rendah dan kemampuan las yang sangat baik. Baja ini dicirikan dengan kekuatan sedang dan ketangguhan benturan dan digunakan secara luas untuk pembuatan *flensa* dan *fitting*, sangat cocok untuk digunakan pada aplikasi suhu rendah dan tekanan tinggi di mana fitur seperti kekuatan tarik dan ketahanan terhadap korosi tidak terlalu penting.

Dalam menyambungkan tiap lembaran plat pada proses produksi *pressure vessel*, pada umumnya menggunakan metode pengelasan SMAW. Pengelasan SMAW dipilih karena biaya yang murah dan dapat digunakan pada berbagai macam posisi pengelasan [1], pengelasan SMAW atau las busur listrik merupakan sebuah proses penyambungan logam menggunakan energi panas yang berasal dari mesin las itu sendiri untuk mencairkan benda kerja(base metal) dengan menggunakan elektroda sebagai bahan pengisi. Seperti diketahui dimensi *pressure vessel* yang bisa sangat besar dan bentuknya yang menyerupai tabung tentu membutuhkan *fleksibilitas* selama proses pengerjaannya. Selain memiliki beberapa kelebihan pengelasan juga menimbulkan beberapa permasalahan, yaitu berubahnya struktur logam pada area pengelasan dan sekitarnya akibat dari perbedaan temperatur pada weld metal dan logam induk, sehingga terjadi pemuaiian thermal yang tidak merata, timbulnya tegangan sisa dan adanya potensi cacat las. Tegangan sisa yang berlebih dari proses pengelasan merupakan potensi bahaya pada proses produksi *pressure vessel*, karena akan mempengaruhi sifat material dan kekuatan sambungan las apabila dibiarkan tanpa diberi perlakuan khusus. Untuk memperbaiki struktur logam dan mengurangi tegangan sisa tersebut maka diperlukan perlakuan panas *Post weld Heat Treatment* [1].

Post Weld Heat Treatment adalah proses pemanasan ulang pada material yang telah dilakukan pengelasan dengan menggunakan alat khusus untuk mengurangi tegangan sisa akibat pengelasan, sehingga ketahanan baja carbon semakin meningkat terhadap *stress corrosion cracking* (SCC), dengan sistem *furnace* yang menggunakan tungku sebagai tempat memanaskan *pressure vessel* yang sudah dilakukan pengelasan sebagai tempat pengaplikasian proses PWHT tersebut.[2][3]

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Maulana Fahmi Choirudin pada tahun 2018 [1] yang membahas mengenai pengaruh waktu tahan pada proses *Post weld Heat Treatment* terhadap material SA 516 Grade 70 dengan temperatur 630°C dan waktu tahan 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam, hingga 2 jam. Menghasilkan kesimpulan yaitu, semakin lama waktu tahan pada proses *Post weld Heat Treatment Annealing* menyebabkan penurunan pada nilai kekuatan tarik dan nilai kekerasan, kemudian pada struktur mikro yang dihasilkan setelah proses *Post weld Heat Treatment Annealing* tidak terjadi perubahan yang signifikan jika dibanding dengan tanpa *Post weld Heat Treatment*. [4]

Pada penelitian Ade Amelia Sapriana pada tahun 2022 [5], menunjukkan bahwa pada proses pengelasan SMAW material pipa ASTM A106 yang diberikan perlakuan panas PWHT Annealing dengan variasi temperatur 350°C, 550°C, dan 750°C dengan waktu tahan 60 menit yang kemudian dilakukan pengujian bending dan uji kekerasan. Menghasilkan kesimpulan yaitu, perubahan yang paling signifikan berada pada temperatur 750°C, pada temperatur tersebut terjadi perubahan pada sifat mekaniknya, yaitu peningkatan pada kekuatan bending dan penurunan pada kekerasan materialnya.[2][6] Terdapat beberapa hal yang dapat dievaluasi dari kedua penelitian tersebut, yaitu pada penelitian Choirudin[1] belum menunjukkan akibat yang akan terjadi jika dilakukan perubahan temperatur pada proses *Post weld Heat Treatment*. Kemudian, pada waktu tahan yang menghasilkan perubahan paling signifikan pada penelitian tersebut adalah selama 2 jam. Namun, berdasarkan ASME Section VIII Division 1 tahun 2019, menjelaskan bahwa untuk material baja karbon rendah dengan ketebalan dibawah 25 mm dapat dilakukan PWHT dengan waktu tahan minimal 15 menit dan maksimal 1 jam.[7] Tentunya seiring dengan semakin lama waktu tahan, akan membutuhkan waktu serta sumber daya yang lebih banyak. Pada penelitian Ade Amelia Sapriana, belum menunjukkan struktur mikro yang muncul akibat perubahan temperatur *Post Weld Heat Treatment*, dan dilihat dari hasil yang diperoleh pada penelitian tersebut, dapat dilakukan peningkatan temperatur lebih tinggi lagi untuk memperoleh hasil yang lebih optimal.[8]

Fokus penelitian ini hanya menganalisis perbedaan hasil ketahanan, efisiensi waktu pelaksanaan pada *soaking temperature* yang sama tetapi dengan ketebalan yang berbeda pada *pressure vessel* yang diberikan perlakuan PWHT yang bertujuan untuk mendapatkan hasil data setiap hasil *location* yang sudah ditentukan, untuk perlakuan PWHT ini yang menggunakan gas sebagai perantara penghantar panas yang menghasilkan data hasil *stress relieve*[9]. Untuk *location* hasil PWHT itu terdapat 12 titik pengujian dengan *temperature* yang digunakan dalam proses *heating rate* 50°C/hr sampai mencapai *soaking temperature* yang sudah di tentukan lalu masuk ke tahap *cooling rate max* 60°C/hr. Sesuai dengan pembahasan yang dibawakan yaitu menganalisis perbandingan hasil data PWHT 36 inch dan 38 inch, dengan ketebalan 36" yaitu 92 mm dan *soaking temperature* yaitu 570°C - 590°C dengan durasi selama 2 jam 55 menit

sedangkan 38” dengan ketebalan 95 mm dan *soaking temperature* yang sama tetapi durasi yang berbeda yaitu 2 jam 50 menit tujuan dilakukannya PWHT dengan metode *furnace* yaitu yang dilakukan keseluruhan karena pada umumnya PWHT untuk *pressure vessel* menggunakan metode *furnace*.

Untuk metode proses PWHT yang digunakan pada PT X yaitu *Gas Firing in A Stationary Furnace (Fixed Furnace)* dan *localized PWHT*, pemanasan menggunakan gas yang dilakukan di tungku permanen / *fixed furnace*. tungku/*furnace* ini memang sengaja di fabrikasi dan dibangun di tempat tertentu secara khusus untuk melayani kegiatan PWHT. *Fixed furnace* banyak digunakan oleh fabrikator dan merupakan jenis PWHT yang membutuhkan tempat besar dan biaya tinggi. Bahan penyuplai panas biasanya menggunakan *Oil Fuel* maupun *Gas Fuel*. Untuk mendeteksi *temperature heating*, menggunakan *thermocouple elements*. Sedangkan proses *localized PWHT* yaitu Pemanasan dalam metode ini dilakukan langsung di area terdekat dengan pengelasan. Metode yang banyak dipakai adalah memanaskan dengan *electrical resistance heating*. *Ceramic beaded heating coil* dililitkan disekitar area *welding*. *Temperature gradient* dikontrol oleh arus listrik.

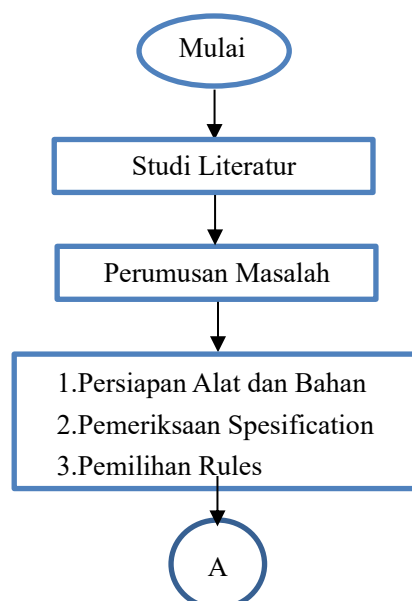
2 Metodologi Penelitian

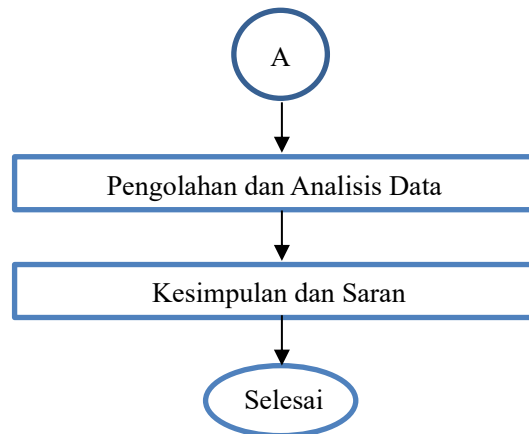
Pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dan bersifat observasional. Dengan hasil perlakuan PWHT berupa hasil chart yang menunjukkan hasil perlakuan pada beberapa titik dengan total titik pengujian sebanyak 12 buah, dengan durasi yang sudah ditentukan dan juga standar yang sudah sesuai dengan kualifikasi yang sudah ditetapkan. Sebagai perbandingan antara 38 inch dan 36 inch yaitu hasil perbandingan *temperature* dan durasi dengan perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Dengan beberapa kali pengujian perlakuan panas pada ukuran yang sama dan akan mendapatkan hasil perbandingan yang baik pada ukuran 38 inch dan 36 inch yang didapat langsung dari pengujian pada PT X. Seperti durasi mencapai titik suhu *soaking temperature* untuk 38” membutuhkan waktu 12 jam sedangkan 36” yaitu 13 jam dengan *temperature heating rate* dan *soak temperature* yang sama tetapi memiliki waktu yang berbeda, untuk mendapatkan data tersebut menggunakan *thermocouple type “K”* yang ditempelkan pada *pressure vessel* dan disambungkan pada *temperature recorder* lalu dipanaskan menggunakan metode *furnace* dan akan direkam melalui *temperature recorder* dengan hasil chart yang dapat menjadi perbandingan.

2.1 Pressure Vessel

Pressure vessel adalah suatu wadah tertutup yang dirancang khusus untuk menyimpan *fluida*, baik gas maupun cairan, dalam kondisi tekanan dan suhu yang tinggi, wadah ini dibuat dari material yang kuat dan tahan terhadap tekanan *ekstrem*, serta dirancang dan dibangun sesuai dengan standar keselamatan yang ketat. *Pressure vessel* tersedia dalam berbagai bentuk dan ukuran, disesuaikan dengan kebutuhan serta aplikasi di berbagai sektor industri. Biasa *pressure vessel* ini diproduksi pada Perusahaan yang oil dan gas dengan standar ASME BPVC Section VIII – *Rules for Construction of Pressure Vessels* yang diharuskan mampu menahan tekanan *internal* atau *eksternal* dengan tekanan lebih besar dari 15 psi (103 kPa).

2.2 Flowchart





Pada penelitian ini melewati beberapa tahapan untuk mendapatkan hasil, dalam memulai penelitian yaitu: Terlebih dahulu dilakukan studi literatur berupa membaca beberapa jurnal yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Sesudah didapatkan dilanjutkan ketahapan perumusan masalah yaitu menentukan permasalahan apa saja yang akan dibawa menjadi acuan sebagai batasan masalah untuk jurnal yang akan dibuat setelah selesai pada tahapan masalah dilanjutkan untuk persiapan dilakukannya pengujian pada materi jurnal yang akan dibuat. Dilanjutkan pada tahapan pengolahan data setelah dilakukannya pengujian yang sudah dilakukan setelah itu membuat Kesimpulan pada penelitian yang sudah dilakukan dan selesai untuk jurnal yang akan dihasilkan.

2.3 Material

ASTM A694 Kelas F65 adalah baja paduan rendah, yang sering dipilih karena kemampuan luluh tinggi yang dipadukan dengan ketangguhan suhu rendah dan kemampuan las yang sangat baik. Baja ini dicirikan dengan kekuatan sedang dan ketangguhan benturan dan digunakan secara luas untuk pembuatan *flensa* dan *fitting*, sangat cocok untuk digunakan pada aplikasi suhu rendah dan tekanan tinggi di mana fitur seperti kekuatan tarik dan ketahanan terhadap korosi tidak terlalu penting.[10]

Typical Applications:
Forged Flanges, Hubs, Valves and bespoke shapes such as Block Tee's.

Typical Chemical Composition:

	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Cu	Al	Ti	V
Min	0.10	0.15	1.25				0.15		0.015		0.05
Max	0.14	0.25	1.4	0.003	0.025	0.15	0.20	0.20	0.025	0.05	0.07

Mechanical Properties – ASTM

Tensile Strength Min, Ksi [Mpa]	Yield Strength min, ksi [MPa]	Elongation %	Reduction of area min, %	Charpy J -46c	Hardness HB
>77 [530]	>65 [450]	>20	>45	.45	152-235

Gambar 1: Spesifikasi Material[10]

2.4 Prosedur Pelaksanaan PWHT

Ada beberapa prosedur yang digunakan pada PT X karena harus diperhatikan sebelum diperlakukan proses PWHT karena akan dapat berpengaruh dengan hasil dari pemanasan *specimen* yang akan dipanaskan:

- Peralatan harus diperlukan panas secara seluruh dalam tungku tertutup, harus dirancang untuk menghindari *oksidasi* berlebih pada permukaan peralatan yang sedang diberi perlakuan panas dan mencegah kontak langsung api dengan peralatan.
- Selama periode pemanasan, variasi suhu tidak boleh lebih 250° F (140° C) dalam *interval* Panjang 15 kaki (4,6 M).
- Selama masa penahanan, tidak boleh ada variasi suhu antara suhu tertinggi dan terendah yang melebihi 150° F (83° C) diseluruh bagian peralatan yang dipanaskan.
- Saat material N&T atau Q&T, suhu PWHT *maksimum* harus *minimal* 30° C (54° F) dibawah suhu *tempering* material dasar.
- Operasi perlakuan panas (laju pemanasan, waktu penahanan/suhu dan laju pendinginan) harus sesuai dengan spesifikasi perlakuan panas.

- Perlindungan pada permukaan mesin yang terbuka terhadap oksidasi selama PWHT. Semua *flense* dengan permukaan terangkat harus dilindungi dengan cat/pelumas tahan suhu atau dilapisi dengan *insulasi* wol kao atau yang setara.
- Untuk pemantauan suhu, suhu pada titik mana pun di zona kerja tungku yang digunakan untuk *austenitisasi*, *normalisasi*, *annealing*, tidak boleh *bervariasi* lebih dari $\pm 14^{\circ}\text{C}$ dari suhu titik setel tungku setelah zona kerja tungku dinaikkan ke suhu tertentu. Sebelum suhu titik setel tercapai, tidak ada pembacaan suhu yang melebihi suhu titik setel melebihi toleransi suhu. Untuk tungku digunakan untuk *tempering*, batas sebelumnya harus ditetapkan pada $\pm 8^{\circ}\text{C}$.
- *Instrumen pengontrol* dan perekam yang digunakan untuk proses perlakuan panas harus akurat hingga $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ dari suhu *survei maksimum*.

Prosedur ini menggunakan beberapa referensi yaitu:

1. ASME B31.8 2022 ED. _ *Gas transmission Transmission and Distribution Piping Systems*
2. ASME VIII DIV. 1 (2021 ED) _ *Rules for construction of Pressure Vessel*
3. 101-23-ME-SPC-00005 _ *Specification for Pig Launchers and Receivers*

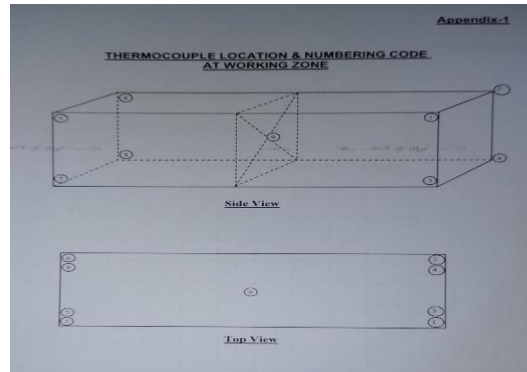
2.5 Proses Pelaksanaan PWHT

Penelitian ini diambil langsung dari pengujian PWHT pada PT X yang menguji pada hasil *stress relieve LNG Furnace* untuk menguji apakah perbedaan suhu atmosfer bagian dalam pada titik yang di tetapkan (300°C , 650°C) berada pada toleransi $\pm 8^{\circ}\text{C}$ atau tidak di zona efektif $12,0\text{ L} \times 4,5\text{ W} \times 4,5\text{ H}$ (Meter) untuk *stress relieving*. Pada proses PWHT menggunakan *applicable* dan *specification* yaitu API Specification 6A, Annex P, Feb 2008, ASTM A991/A991M-10, April 2010.

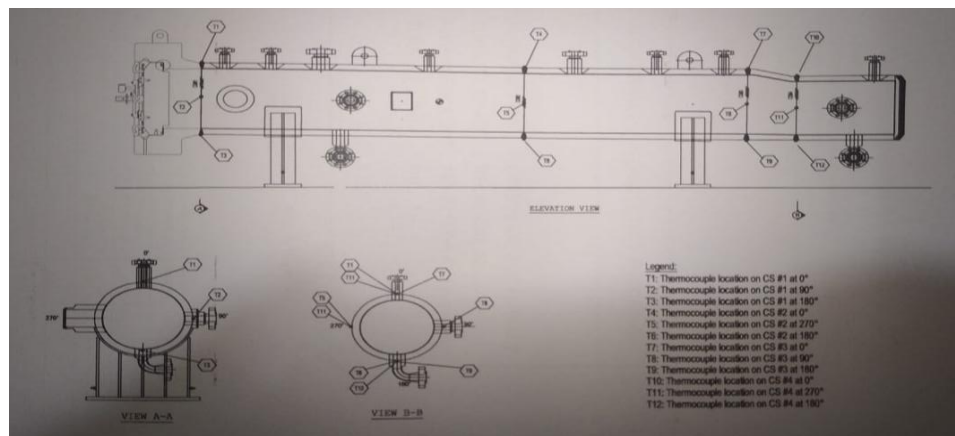
Alat yang digunakan untuk mendapatkan hasil proses PWHT adalah thermocouple type 'K' , dengan metode test yang digunakan:

- a) Tungku harus dibersihkan dan peralatan pembakaran gas harus diperiksa sebelum di uji.
- b) Tempat termokopel untuk memantau profil suhu ditungku dengan menggunakan 5 set dudukan termockopel di dona pemanasan efektif
- c) Sebanyak 9 titik termokopel pemantauan harus dipasng pada dudukan termokopel.
- d) Semua sambungan termokopel harus diisolasi secara memadai dengan dempul keramik suhu tinggi untuk menghindari kesalahan pembacaan suhu yang disebabkan oleh pengaruh radiasi
- e) Pemantauan suhu:
 - Sebanyak 9 titik termokopel dihubungkan ke perekam suhu 12 titik dan akan dicatat terus menerus pada *temperature record chart*.
 - Sebanyak 2 titik termokopel titik setel dihubungkan ke perekam suhu 12 poin dan suhu akan dicatat terus menerus pada *temperature record chart*.
 - Titik setel harus sesuai dengan kondisi suhu *heating rate*: $100^{\circ}\text{C}/\text{HR}$, *First Soaking*: $300^{\circ}\text{C} \times \text{min } 0,5\text{ hour}$, dan *Second Soaking*: $650^{\circ}\text{C} \times \text{min } 0,5\text{ hour}$
 - Sebelum titik setel asap tercapai, tidak ada satu pun pembacaan suhu yang boleh melampaui batas titik setel tertentu.
 - Setelah suhu titik setel kendali tungku tercapai, pembacaan suhu tidak boleh bervariasi lebih dari 18°C .
 - Setelah suhu titik setel telah tercapai, semua suhu lokasi pengujian harus dicatat pada *interval* 2 menit, setidaknya selama 10 menit. Kemudian pembacaan harus dilakukan pada interval 5 menit untuk waktu yang cukup, setidaknya selama 30 menit.
 - Tungku harus disurvei dalam waktu satu tahun sebelum digunakan untuk perlakuan panas. ketika tungku diperbaiki atau dibangun kembali, survei suhu harus dilakukan sebelum tungku digunakan untuk perlakuan panas.

2.6 Area dan Titik Perlakuan Panas



Gambar 2: Area Perlakuan Panas Proses PWHT



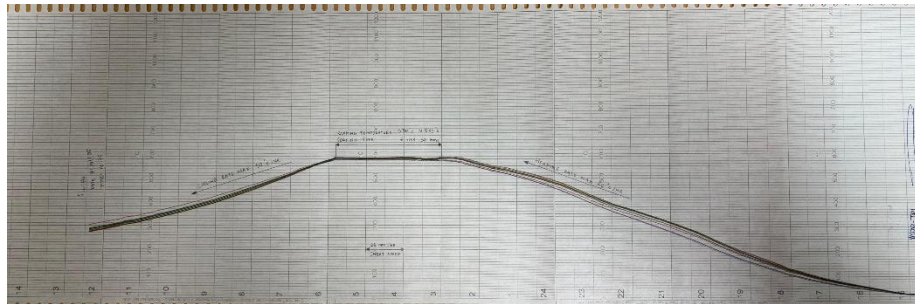
Gambar 3: Titik Perlakuan Panas Proses PWHT

Pemilihan titik pada *pressure vessel* berdasarkan rules ASME VIII DIV. 1 (2021 ED)_*Rules for construction of pressure vessels* yang berisi:

- Termokopel harus digunakan untuk mengontrol suhu tungku untuk memastikan suhu di dalam seragam dan sesuai dengan yang ditentukan. Jumlah dan lokasi termokopel harus cukup untuk menunjukkan bahwa semua bagian produksi berada dalam waktu dan suhu yang diperlukan oleh prosedur ini.
- Termokopel harus dipasang menggunakan unit pelepasan kapasitor, dan termokopel harus dihubungkan secara individual dengan perekam.
- disarankan untuk menentukan celah maksimum antara dua sambungan kabel TC tidak boleh melebihi 6mm.
- sarankan untuk mempertimbangkan potensi terlepasnya termokopel selama PWHT, sertakan tambahan jika memungkinkan.
- Jumlah termokopel minimal 6 (enam) buah per peralatan dan maksimal 12 (dua belas), sketsa yang menunjukkan letak termokopel harus disediakan. Termokopel harus ditempatkan pada benda-benda di bagian atas dan bawah/bagian dalam dan luar wadah untuk memastikan seluruh wadah dipanaskan sesuai dengan prosedur ini. Termokopel harus dipasang pada bagian pig launcher yang paling tebal dan paling tipis.
- Bagan perlakuan panas harus disertakan dengan sertifikat material. Bagan harus melaporkan suhu dari termokopel pengontrol tungku dan suhu dari termokopel yang bersentuhan dengan peralatan perlakuan panas.

2.7 Hasil Proses PWHT

Alat yang digunakan pada kalibrator PWHT berupa Thermocouple yang berfungsi untuk mendeteksi suhu pada material yang sudah ditempatkan pada beberapa titik yang mampu menahan suhu yang ekstrim, tetapi tidak dapat menyimpan data yang sudah diterima. Pemantauan siklus suhu sterilisator akan lebih mudah diamati dalam bentuk grafik dimana grafik suhu banding waktu akan memantau siklus suhu yang terjadi ketika proses PWHT pada suhu dan waktu tertentu. Oleh karena itu membutuhkan support agar dapat menyimpan data thermocouple jadi disambungkan pada *temperature recorder* dan akan menghasilkan data berupa chart yang berisi data temperature mulai dari temperatur *heating rate*, *soaking temperature*, *cooling rate*, durasi PWHT, dan grafik temperature pada format chart yang akan di hasilkan

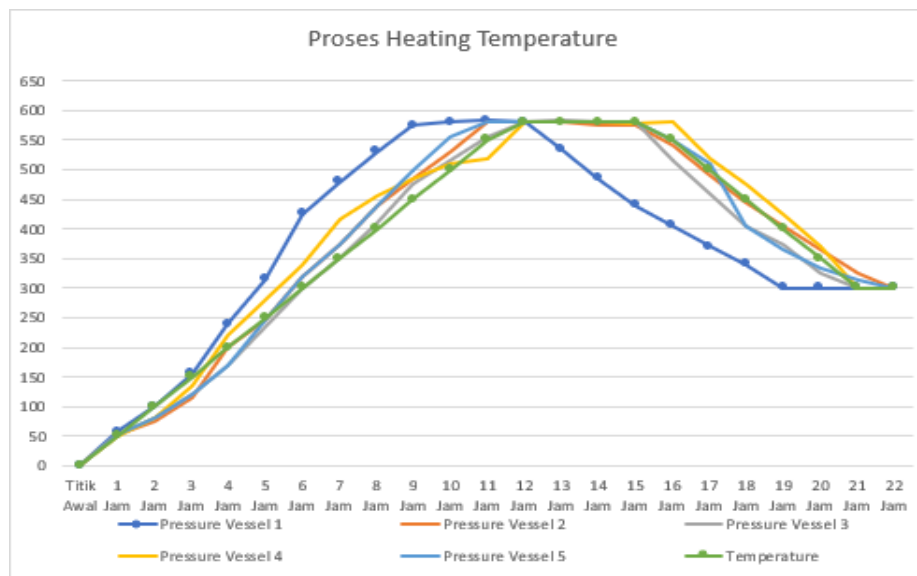


Gambar 4: Hasil Chart Pada Proses PWHT

3 Analisa Data dan Pembahasan

3.1 Proses Pembacaan Data Hasil

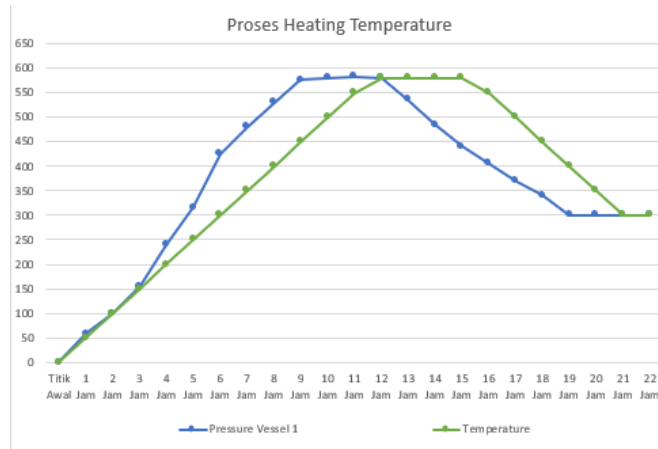
Dari data proses *heating temperature* menghasilkan *curva* sebagai berikut:



Gambar 5: Hasil Proses Post Weld Heat Treatment

Dari gambar 5 kita dapat melihat data yang terus naik karena proses *heating temperature* yang menyalurkan panas melalui LPG yang sambungkan dengan *furnace* yang sebagai perantara panas untuk memberikan panas pada setiap weldingan sedangkan yang mendatar merupakan data hasil proses *soaking temperature* dengan mempertahankan *temperature* tertentu untuk memperbaiki system welding yang sudah dilakukan dan yang menurun merupakan proses *cooling temperature* dengan suhu diturunkan pada *temperature* tertentu untuk mendinginkan

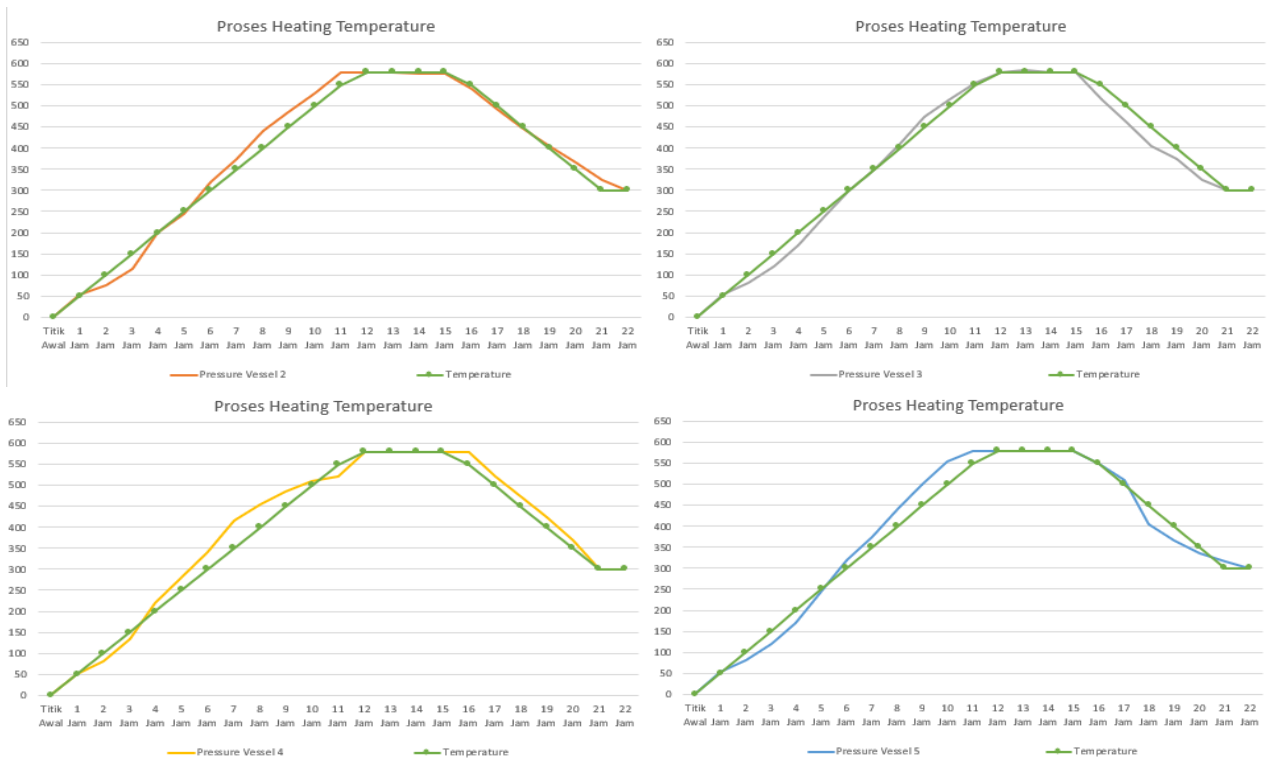
welding setelah dilakukannya pemanasan pada welding. metode *kalibrasi* dilakukan sesuai dengan prosedur kalibrasi teknis *internal* MCTM-T06:2011 sebagai panduan untuk penggunaan thermocouple yang akan digunakan.



Gambar 6: Pressure Vessel ke-1

Dari *temperature* proses *heating rate* 50°C/hr sampai mencapai *soaking temperature* yang sudah di tentukan yaitu 570°C-590°C masuk ke tahap *cooling rate max* 60°C/hr, pada *Pressure Vessel* ke-1 disini kita dapat melihat titik *heating* lebih tinggi dari pada *temperature* yang diinginkan karena pengisian panas lebih tinggi dari pada ketentuan yang diinginkan maka menyebabkan *temperature* tidak sesuai dengan target *temperature* proses PWHT yang ditentukan, juga berpengaruh pada titik mulai proses *soaking temperature* dan berpengaruh pada proses *cooling* yang dilakukan lebih awal dari pada titik *temperature*.

Gambar 6: Pengujian ke-2, 3, 4 dan 5



Dari *Pressure Vessel* ke-2 dan 5 juga terjadi hal yang sama dengan *Pressure Vessel* ke-1 tetapi perbedaan dengan *temperature* tidak terlalu *signifikat*, pada proses *heating* kenapa berbentuk gelombang karena saat pengisian gas LPG tidak stabil bisa lebih dari ketentuan juga bisa kurang dari ketentuan oleh karena itu berbentuk gelombang sedangkan

Pressure Vessel ke-4 proses *soaking* yang lebih lama dan kurang sesuai dengan ketentuan, dari ketentuan *soaking* yaitu dilakukan selama 3 jam jadi untuk pengujian yang lebih stabil ada pada *Pressure Vessel* ke-3 karena perbedaan dengan *temperature* yang ditentukan *heating rate* 50°C/hr sampai mencapai *soaking temperature* yang sudah ditentukan yaitu 570°C-590°C masuk ke tahap *cooling rate max* 60°C/hr dan juga durasi juga sama dengan *temperature* yang diinginkan.

3.2 Hasil Pengujian Stress Relielive

Pengujian *stress relieve* ini dilakukan pada PT X dengan *standar* yang digunakan API Specification 6A, Annex P, Feb 2008, Setelah dilakukannya pengujian menghasilkan chart yang berupa data tekanan dan durasi yang berupa data. Hasil tersebut kemudian dimasukkan kedalam table berikut:

Spesimen		Durasi												
		Titik Awal	1 Jam	2 Jam	3 Jam	4 Jam	5 Jam	6 Jam	7 Jam	8 Jam	9 Jam	10 Jam	11 Jam	12 Jam
Pressure vessel 1	Heating Rate	0	55 - 60	90 - 110	145 - 180	220 - 270	310 - 340	400 - 440	475 - 495	525 - 550	565 - 580	-	-	-
	Soaking Temperatur	580 - 585	575 - 580	580 - 585	578 - 583	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cooling Rate	575 - 580	530 - 538	480 - 490	438 - 448	400 - 410	365 - 375	332 - 345	310 - 320	-	-	-	-	-
Pressure vessel 2	Heating Rate	0	50 - 55	65 - 85	105 - 135	170 - 220	225 - 270	290 - 340	350 - 400	410 - 460	460 - 500	510 - 550	565 - 590	-
	Soaking Temperatur	570 - 590	575 - 585	570 - 580	570 - 580	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cooling Rate	570 - 580	535 - 545	485 - 495	440 - 450	400 - 410	360 - 370	320 - 330	290 - 300	-	-	-	-	-
Pressure vessel 3	Heating Rate	0	45 - 60	70 - 90	100 - 130	150 - 190	210 - 255	280 - 320	335 - 360	390 - 430	455 - 490	505 - 530	540 - 565	570 - 590
	Soaking Temperatur	570 - 590	585 - 590	575 - 585	575 - 585	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cooling Rate	575 - 585	510 - 520	450 - 470	395 - 420	360 - 390	315 - 345	280 - 315	-	-	-	-	-	-
Pressure vessel 4	Heating Rate	0	45 - 55	75 - 95	120 - 150	190 - 230	260 - 300	330 - 370	390 - 430	440 - 470	470 - 495	500 - 520	530 - 540	550 - 565
	Soaking Temperatur	570 - 590	575 - 585	570 - 585	570 - 585	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cooling Rate	570 - 585	515 - 525	470 - 480	420 - 430	370 - 385	295 - 315	-	-	-	-	-	-	-
Pressure vessel 5	Heating Rate	0	45 - 60	70 - 90	110 - 130	150 - 190	225 - 265	300 - 335	370 - 395	430 - 450	490 - 510	550 - 565	570 - 585	-
	Soaking Temperatur	570 - 585	570 - 585	570 - 585	570 - 585	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cooling Rate	570 - 585	545 - 555	500 - 510	400 - 410	360 - 370	330 - 345	310 - 320	280 - 290	-	-	-	-	-

Tabel 1: Data Pengujian pada *Pressure Vessel*

Dari data berikut dengan data *Pressure Vessel* yang sama dan material sama tetapi dengan titik pengujian di setiap *Pressure Vessel* sebanyak 12 titik yang sudah diletakkan di masing-masing titik yang berbeda dengan dilakukannya 5 pengujian dengan ukuran yang berbeda kita dapat membedakan durasi yang lebih *efisien* dari beberapa *Pressure Vessel* dan Semakin lama mengalami perlakuan panas, maka semakin berkurang nilai kekerasannya. Penurunan nilai kekerasan tersebut diakibatkan oleh pengaruh waktu yang mengalami perlakuan panas, selain itu dengan adanya *holding time* maka struktur mikro pada *Pressure Vessel* akan berubah dan lebih *homogen* dari pada *Pressure Vessel* yang tidak mengalami perlakuan panas[6].

Dengan ketebalan *thickness* 95 mm dari beberapa percobaan dapat dilihat dari *efisiensi* waktu dari percobaan 3 memiliki *efisiensi* waktu yang lebih baik yaitu sekitar 21 jam lama proses terjadinya *Post Weld Heat Treatment*(PWHT) dengan diameter *pressure vessel* sebesar 38" inch untuk mencapai temperature yang sudah ditetapkan yaitu sebesar 570° C ~ 590° C, dan juga lebih baik dari *Pressure Vessel* lainnya karena dalam proses pemanasan suhu yang digunakan lebih stabil dari beberapa *Pressure Vessel* lainnya. Ada beberapa *factor* mengapa ukuran 36" yang mempengaruhi kenapa ukuran yang lebih kecil cenderung lebih lama karena disini menggunakan *system furnace* yang dimana perlu melakukan pengisian panas didalam *furnace* agar material didalam *furnace* dapat terkena tekanan panas jadi untuk ukuran yang lebih kecil membutuhkan waktu yang lebih lama agar terkena panas.

4 Kesimpulan

4.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan mengenai *stress relieve Post Weld Heat Treatment*(PWHT) dengan material ukuran 38" dan 36" inch dapat disimpulkan:

1. Sistem *furnace* dapat mempengaruhi lama dilakukannya proses *heat treatment* juga ada beberapa *factor* yang mempengaruhi seperti ketebalan *Pressure Vessel*, ukuran *Pressure Vessel* juga panas yang digunakan untuk melakukan *heat treatment*. Sedangkan durasi juga dapat mempengaruhi material yang dapat mengurangi kekerasan pada material pengujian dan ukuran *Pressure Vessel* yang dilakukan PWHT menggunakan *system furnace* dominan lebih lama dari pada material yang lebih besar sesuai ukuran *furnace* yang digunakan sebagai media perantara proses *Post Weld Heat Treatment*(PWHT). Sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas pelaksanaan *Post Weld Heat Treatment* dimasa mendatang, beberapa saran yang

dapat diajukan. Seperti memeriksa internal terhadap furnace yaitu pemeriksaan fisik dan visual, pemeriksaan termokopel dan sensor suhu, dan pemeriksaan sistem kontrol dan instrumentasi yang digunakan agar tidak menghambat keberlangsungan proses *Post Weld Heat Treatment* dan menggunakan tenaga ahli yang berpengalaman selaku pelaksana proses *Post Weld Heat Treatment* untuk menghindari kesalahan saat proses pelaksanaan. Dalam proses *post weld heat treatment* berlangsung sangat perlu memperhatikan koordinasi antar sesama tim pelaksana dan melakukan breafing sebelum pelaksanaan untuk memberi informasi yang akan dilakukan.

2. Dari pengujian yang sudah dilakukan disini sudah didapatkan beberapa hasil yang lebih efisien digunakan untuk meminimalisir waktu pengerjaan *Post Weld Heat Treatment* dengan *Pressure Vessel* ke-3 dengan ukuran 38”inch untuk waktu yang lebih efisien selama 21 jam pengerjaan proses PWHT dan juga karena waktu yang lebih cepat tidak terlalu mengurangi kekerasan pada *Pressure Vessel*, dan juga *Pressure Vessel* ke-2 yang cukup baik yaitu dengan ukuran 38”inch membutuhkan waktu selama 21 jam untuk mencapai suhu sebesar $570^{\circ}\text{C} \sim 590^{\circ}\text{C}$. Dengan menggunakan *furnace* yang berukuran 12,0 L x 4,5 W x 4,5 H (Meter) untuk pembakaran yang lebih efektif ada pada ukuran *pressure vessel* 38” sedangkan untuk yang *pressure vessel* 36” memerlukan pembakaran yang lebih tinggi dari pada *pressure vessel* 38”.

Saran untuk penelitian selanjutnya diharapkan berfokus pada beberapa pengujian berupa pengujian *thinkness* dan pengujian *bending* untuk acuan sebagai data hasil untuk perbandingan beberapa pengujian yang akan dilakukan, dilakukannya pengujian berikut untuk hasil pengujian yang sudah dilakukan sebagai data hasil. Selain itu, beberapa saran lainnya dapat berupa pengujian dengan variasi material yang digunakan atau juga dapat menggunakan variasi *temperature* yang berbeda.

5 Daftar Pustaka

Penulisan referensi menggunakan urutan angka seperti berikut, dimana nomor urut disesuaikan dengan nomor referensi yang ditulis didalam isi paper.

- [1] F. Widya, S. Ashari, A. Hafizh, A. Rasyid, M. Arif Irfa'i, and S. Drastiawati, “Pengaruh Variasi Temperatur Post Weld Heat Treatment Full Annealing Pada Material Sa 516 G 70 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan,” vol. 2, no. 2, pp. 158–173, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.poliwangi.ac.id/index.php/jinggo/>
- [2] F. Arief and T. H. Ningsih, “Pengaruh Variasi Holding Time PWHT Pada Hasil Pengelasan SMAW Baja AISI 1045 Terhadap Nilai Uji Tarik,” *J. Inov. Teknol. Manufaktur, Energi, dan Otomotif*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2023.
- [3] S. Makro, T. Rachmatullah, H. Pratikno, and H. Ikhwan, “Analisa Pengaruh Variasi Pre-Weld Heat Treatment dan Aging Post Weld Heat Treatment,” vol. 9, no. 2, pp. 43–48, 2020.
- [4] A. Arifah and S. Ruswanto, “Efek Post Weld Heat Treatment terhadap Sifat Mekanik AISI 316 Hasil Pengelasan GTAW,” *J. Mek. Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 81–87, 2020, doi: 10.32722/jmt.v1i2.3354.
- [5] A. A. Sapriana and Yunus, “Pengaruh Suhu PWHT Annealing Terhadap Kekuatan Bending dan Kekerasan Pipa ASTM 106 Grade B pada Pengelasan SMAW,” *J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 147–152, 2022.
- [6] D. S.- Grade *et al.*, “(ANALISIS HOLDING TIME POST WELD HEAT TREATMENT (PWHT) PADA PENGELASAN MATERIAL SA-213 GRADE T91)” vol. 14, no. 1, pp. 317–329, 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i1.1304.
- [7] Ciptanto Lubis P, Budiarto U, and Jokosisworo S, “Analisa Pengaruh Variasi Waktu Post Weld Heat Treatment Pada Pengelasan SMAW Baja A36 Terhadap Kekuatan Uji Tarik, Uji Impak dan Struktur Mikro,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 10, no. 3, p. 48, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>

- [8] N. Widiyanto, A. Suprihanto, and G. D. Haryadi, "Pengaruh Post Weld Heat Treatment Terhadap Pengelasan Smaw Pada Material Aisi 1045 Terhadap Laju Korosi Di Air Laut," *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 11, no. 3, pp. 89–100, 2023.
- [9] S. T. Mesin, F. Teknik, U. N. Surabaya, J. T. Mesin, F. Teknik, and U. N. Surabaya, "PENGARUH POST WELD HEAT TREATMENT (PWHT) DENGAN VARIASI MEDIA PENDINGINAN HASIL PENGELASAN SMAW PADA PIPA KILANG ASTM A 106 GRADE B TERHADAP KEKUATAN BENDING DAN STRUKTUR MIKRO Genio Yudha Pratama Yunus," 2000.
- [10] "ASTM A694/A694M-16. Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Forgings for Pipe Flanges, Fittings, Valves, and Parts for High-Pressure Transmission Service," p. 800, 2022.