

**PENGARUH TEMPERATUR *POST HEATING***

**TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA PENGELASAN GTAW**

**BAJA *SS* 316 *L***

**SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Syarat Dalam Rangka Penyelesaian Studi

Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Mesin

Jenjang Strata Satu (S1)

Oleh :

**IQBAL HIMMAH SYAHPUTRA**

**NPM. 6420600002**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER**

**UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL**

**2024**

# LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : Pengaruh Temperatur *Post Heating* Terhadap Sifat Mekanik Pada Pengelasan GTAW Baja *SS* *316 L*

Nama : Iqbal Himmah Syahputra

NPM : 6420600002

Skripsi telah disetujui untuk diseminarkan pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 06 Juni 2024

|  |  |
| --- | --- |
| Pembimbing I | Pembimbing II |
|  |  |
| **(****Rusnoto ST., M.Eng)**  NIPY. 14054121974 | **(****Isradias Mirajhusnita, ST, MT)**  NIPY. 22561051983 |

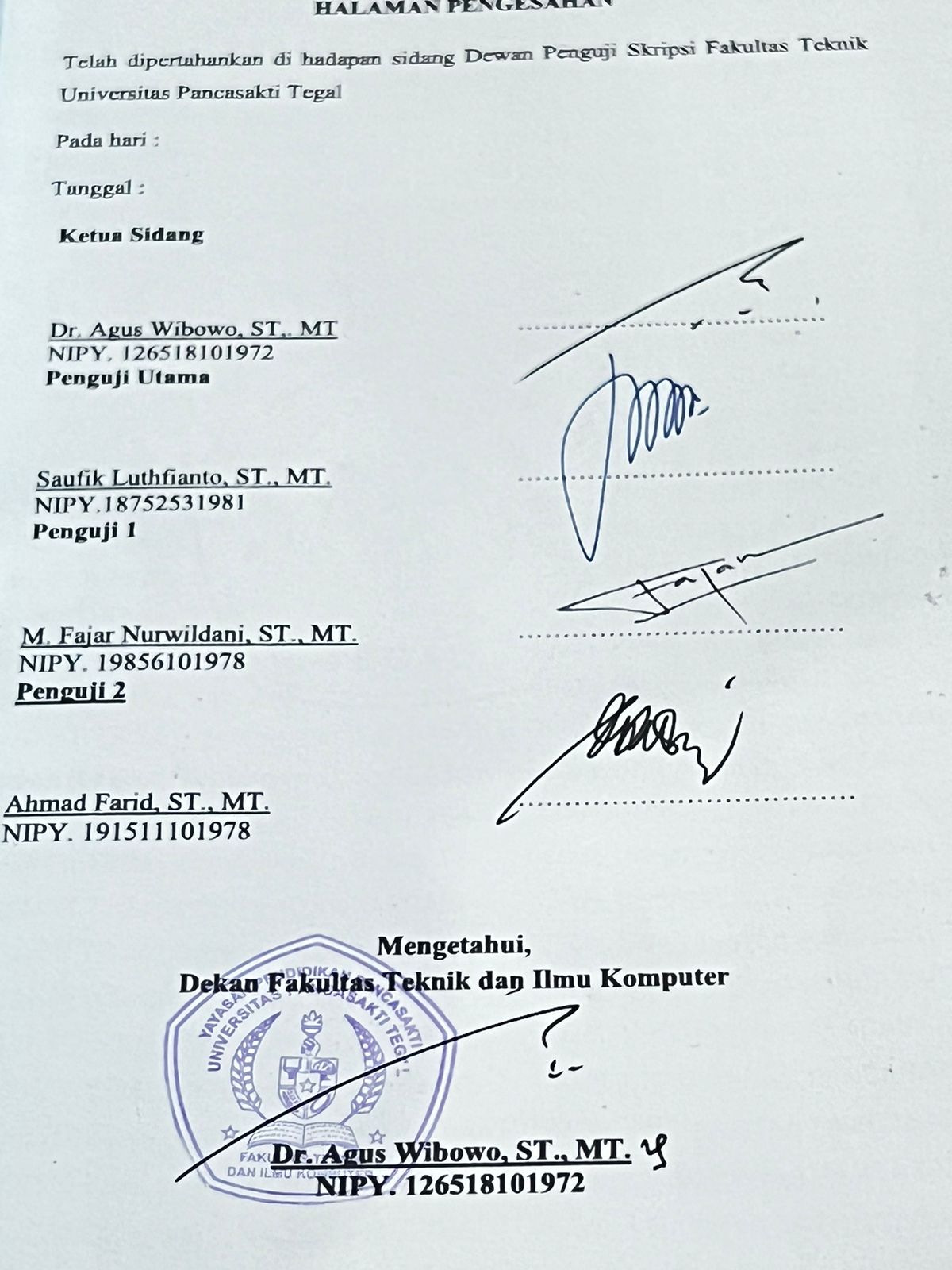
# HALAMAN PENGESAHAN

Telah dipertahankan dihadapan sidang Dewan Penguji Skripsi Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal

Pada hari : Selasa

Tanggal : 23 Juli 2024

|  |  |
| --- | --- |
| **Ketua Penguji :**  **Teguh Haris Santoso, ST., MT.**  NIPY. 2466451973 | (……………………………………) |
| **Penguji Utama :**  **Galuh Renggani W, ST., MT.**  NIPY. 16262561981 | (……………………………………) |
| **Penguji 1**  **Rusnoto, ST., M. Eng.**  NIPY. 14054121974 | (……………………………………) |
| **Penguji 2**  **Isradias Mirajhusnita, ST., MT.**  NIPY. 22561051983 | (……………………………………) |



# 

# PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "Pengaruh Temperatur *Post Heating* Terhadap Sifat Mekanik Pada Pengelasan Gtaw Baja *SS* 316 *L*” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya sendiri dan saya tidak akan melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat, atas pernyataan ini saya siap menanggung resiko atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila dikemudian hari adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya sendiri.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | Tegal, 30 Juli 2024 |
|  |  |  |
|  |  | Iqbal Himmah Syahputra  NPM. 6420600002 |

# MOTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

1. Jadilah pekerja keras dan sadar bahwa anda bukanlah penikmat harta orangtua.
2. Tujuan masuk kuliah bukan hanya untuk mencari pekerjaan, tetapi mempelajari bagaimana caranya menjadi berguna dalam kerjaan.
3. Tidak akan ada kata percuma untuk orang yang mau berusaha.

PERSEMBAHAN :

1. Kepada Allah SWT. Yang selalu memberikan Rahmat dan hidayahnya kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang yang sudah membesarkan saya, kedua orang yang sangat berjasa dalam hidup saya, kedua orang yang sangat saya sayangi dan kedua orang yang sangat menyayangi saya, beliau adalah kedua orang tua saya bapak alm Maghfur dan Ibu Mas’ilah Hidayah, tanpa do’a dan dukungan beliau tidak mungkin saya bisa menjadi seperti sekarang.
3. Kakak perempuan saya Salsabilla Himmah Fitriyani yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, motivasi dan juga memberikan bimbingan dan arahan kepada saya agar saya dapat menjadi yang lebih baik lagi.
4. Bapak Rusnoto, ST., M.Eng. Selaku dosen pembimbing I dan IbuIsradias Mirajhusnita, ST, MT Selaku dosen pembimbing II yang senantiasa membimbing saya hingga skripsi ini dapat selesai sebagaimana mestinya.
5. Bapak Hadi Wibowo, ST., MT. selaku kepala program studi Teknik Mesin yang juga selalu memberikan dukungan dan motivasi kepada saya
6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Mesin dan juga segenap karyawan dan dosen di FTIK Universitas Panccasakti Tegal.
7. Teman-teman seperjuangan dalam pembuatan skripsi ini, teman-teman yang susah dan senang bersama dan mereka yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada saya.

# ABSTRAK

IQBAL HIMMAH SYAHPUTRA. 2024." Pengaruh temperatur *post heating* terhadap sifat mekanik baja *ss* 316 *l* pada pengelasan gtaw", Teknik Mesin Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal 2024.

Pada era sekarang, teknik las GTAW dipergunakan secara luas dalam penyambungan barang-barang pada konstruksi mesin dan dalam dunia industri lainnya, tidak sedikit juga yang menambahkan proses fabrikasi seperti *heat treatment* dalam pengelasan GTAW dengan maksud untuk membuat hasil las menjadi lebih kuat dan lebih bagus. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur perlakukan panas setelah pengelasan (*post heating)* dengan suhu 650 °C, 700 °C, 750 °C dan 800 °Cterhadap kekuatan tarik, kekuaan *bending* dan kekerasan pengelasan GTAW baja *SS* 316 *L*.

Penelitian ini menggunakan bahan plat baja *SS* 316 *L* dengan jenis las yang digunakan adalah las GTAW yang kemudian dilakukan perlakuan panas setelah pengelesan dengan variasi suhu 650 °C, 700 °C, 750 °C dan 800 °C kemudian dan dilakukan pengujian tarik, pengujian *bending* dan pengujian kekerasan. Nilai rata-rata dari pengujian tarik tertinggi terdapat pada suhu 700°C sebesar 527,3 N/mm², nilai rata-rata tertinggi pada pengujian *bending* adalah pada suhu 650°C sebesar 526,18N/mm² dan pada pengujian kekerasan nilai rata-rata kekerasan tertinggi terletak pada suhu 800°C sebesar 212,6 VHN.

**Kata Kunci: Pengelasan GTAW, *SS* 316 L, *Post Heating*, Variasi Temperatur, Pengujian Tarik, Pengujian *Bending*, Pengujian Kekerasan**

# ABSTRACT

IQBAL HIMMAH SYAHPUTRA. 2024." Effect of post heating temperature on mechanical properties of *ss* 316 *l* steel in gtaw welding", Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Computer Science, Pancasakti University Tegal 2024.

In the current era, GTAW welding techniques are widely used in connecting items in machine construction and in other industrial worlds, not a few also add fabrication processes such as heat treatment in GTAW welding with the intention of making the weld results stronger and better. The purpose of this study was to determine the effect of variations in heat treatment temperature after welding (post heating) with temperatures of 650 ° C, 700 ° C, 750 ° C and 800 ° C on tensile strength, bending strength and hardness of GTAW welding of SS 316 L steel.

This study uses *SS* 316 *L* steel plate material with the type of welding used is GTAW welding which is then heat treated after welding with temperature variations of 650 ° C, 700 ° C, 750 ° C and 800 ° C then and tensile testing, bending testing and hardness testing are carried out. The average value of the highest tensile test is at a temperature of 700 ° C of 527.3 N / mm², the highest average value in bending testing is at a temperature of 650 ° C of 526.18N / mm² and in hardness testing the highest average value of hardness is located at a temperature of 800 ° C of 212.6 VHN.

**Keywords: GTAW Welding, SS 316 L, Post Heating, Temperature Variation, Tensile Testing, BendingTesting, Hardness Testing**

# PRAKATA

Dengan memanjatkan puja dan puji syukur kehadirt Allah SWT yang telah memberikan petunjuk, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Pengaruh Temperatur *Post Heating* Terhadap Sifat Mekanik Pada Pengelasan GTAW Baja *SS 316 L*“. Penyusunan proposal skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat dalam rangka menyelesaikan tugas strata Program Studi Teknik Mesin.

Dalam penyusunan dan penulisan skripisi ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Agus Wibowo, ST. MT. Selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Panasakti Tegal.

2. Bapak Rusnoto ST., M.Eng selaku dosen pembimbing I.

3. IbuIsradias Mirajhusnita, ST, MT selaku dosen pembimbing II.

4. Segenap Dosen dan Staf Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.

5. Ibu Mas’ilah Hidayah & Kaka Salsabila Himmah Fitriyani yang tak pernah lelah mendoakanku.

6. Teman-teman baik dikampus maupun di rumah yang telah memberikan dukungan moral dalam penyusunan skripsi ini.

7. Semua pihak yang telah membantu hingga laporan ini selesai, semoga bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mendapat balasan yang sesuai dari Allah SWT.

8. Untuk keluarga Toing Family terimakasih atas support dan bantuannya,semoga silaturahmi kita saling terjaga.

Penulis telah mencoba membuat laporan sesempurna mungkin semampuan kemampuan penulis, namun demikian mungkin ada yang kekurangan yang tidak terlihat oleh penulis untuk itu mohon masukan untuk kebaikan dan pemaafnya. Harapan penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Amiin.

Tegal, Januari 2024

# DAFTAR ISI

[LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI ii](#_Toc172731312)

[HALAMAN PENGESAHAN iii](#_Toc172731313)

[PERNYATAAN iv](#_Toc172731314)

[MOTO DAN PERSEMBAHAN v](#_Toc172731315)

[ABSTRAK vii](#_Toc172731316)

[ABSTRACT viii](#_Toc172731317)

[PRAKATA ix](#_Toc172731318)

[DAFTAR ISI xi](#_Toc172731319)

[DAFTAR GAMBAR xiii](#_Toc172731320)

[DAFTAR TABEL xiv](#_Toc172731321)

[LAMBANG DAN SINGKATAN xv](#_Toc172731322)

[BAB I PENDAHULUAN 1](#_Toc172731323)

[A. Latar Belakang 1](#_Toc172731324)

[B. Batasan Masalah 3](#_Toc172731325)

[C. Rumusan Masalah 4](#_Toc172731326)

[D. Tujuan Penelitian 5](#_Toc172731327)

[E. Manfaat Penelitian 5](#_Toc172731328)

[F. Sistematika Penulisan 6](#_Toc172731329)

[BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA 8](#_Toc172731330)

[A. Landasan Teori 8](#_Toc172731331)

[1. Baja Tahan Karat 8](#_Toc172731332)

[2. Baja Paduan SS 316 L 10](#_Toc172731333)

[3. Pengelasan (*welding*) 10](#_Toc172731334)

[4. GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) 11](#_Toc172731335)

[*5. Post Weld Heat Treatment* 12](#_Toc172731336)

[6. Aplikasi *Post Weld Heat Treatmenrt (PWHT)* 12](#_Toc172731337)

[7. Tahapan Pemanasan dalam *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) 14](#_Toc172731338)

[8. Pengujian Kekuatan Tarik 14](#_Toc172731339)

[9. Uji Lengkung 18](#_Toc172731340)

[10.Uji Kekerasan Vikers 19](#_Toc172731341)

[B. Tinjauan Pustaka 21](#_Toc172731343)

[BAB III METODE PENELITIAN 30](#_Toc172731344)

[A. Metode Penelitian 30](#_Toc172731345)

[B. Waktu dan Tempat Penelitian 30](#_Toc172731346)

[C. Alat Penelitian dan Rancangan Uji 32](#_Toc172731347)

[D. Teknik Pengambilan Sampel 34](#_Toc172731348)

[E. Variabel Penelitian / Fenomena yang diamati 35](#_Toc172731349)

[F. Metode Pengumpulan Data 37](#_Toc172731350)

[G. Analisis Data 38](#_Toc172731351)

[H. Diagram Alur Penelitian 42](#_Toc172731352)

[BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 43](#_Toc172731353)

[A. Hasil Penelitian 43](#_Toc172731354)

[1. Uji komposisi baja SS316 L 43](#_Toc172731355)

[1. Pengujian tarik 43](#_Toc172731356)

[*2.* Hasil Pengujian *Bending* 46](#_Toc172731357)

[3. Hasil Pengujian Kekerasan 50](#_Toc172731358)

[B.Pembahasan 55](#_Toc172731359)

[BAB V PENUTUP 56](#_Toc172731360)

[A. Kesimpulan 56](#_Toc172731361)

[B. Saran 57](#_Toc172731362)

[LAMPIRAN – LAMPIRAN 60](#_Toc172731363)

# DAFTAR GAMBAR

[Gambar 2. 1 Spesimen Uji Tarik 15](file:///C:\Users\ACER\Downloads\BAB%20I,II,III%20Skripsi%20IIQ(Revisi).docx#_Toc157599233)

[Gambar 2. 2 Skema Uji Bending 18](file:///C:\Users\ACER\Downloads\BAB%20I,II,III%20Skripsi%20IIQ(Revisi).docx#_Toc157599235)

Gambar 2. 3 Uji Vickers………………….…………………...…………………20

[Gambar 3. 1 Dimensi Spesimen Uji Tarik 33](#_Toc172818911)

[Gambar 3. 2 Dimensi Spesimen Uji lengkung/tekan 33](#_Toc172818912)

[Gambar 3. 3 Dimensi Spesimen Uji Kekerasan Vickers 34](#_Toc172818913)

[Gambar 4. 1 Pengaruh Variasi Suhu Post Heating Terhadap Kekutan Tarik 45](#_Toc172791796)

[Gambar 4. 2 Pengaruh Variasi Suhu Post Heating Terhadap Kekuatan Bending 49](#_Toc172791797)

[Gambar 4. 3 Pengaruh Variasi Suhu Post Heating Terhadap Kekerasan Vickers 54](#_Toc172791798)

# DAFTAR TABEL

[Tabel 3. 1 Susunan Jadwal Riset 31](#_Toc171589060)

[Tabel 3. 2 Lembar Pengujian Tarik 39](#_Toc171589061)

[Tabel 3. 3 Lembar Pengujian Kekerasan *Vickers* 40](#_Toc171589062)

[Tabel 3. 4 Lembar Pengujian *Bending* 41](#_Toc171589063)

[Tabel 4. 1 Uji komposisi baja *SS* 316 *L* 43](#_Toc168754775)

[Tabel 4. 2 hasil pengujian tarik 43](#_Toc168754776)

[Tabel 4. 3 hasil pengujian *bending* 46](#_Toc168754777)

[Tabel 4. 4 hasil pengujian kekerasan *Vickers* 50](#_Toc168754778)

# LAMBANG DAN SINGKATAN

VHN = Hardness Vickers Number

P =Beban yang digunakan (Kgf)

P =Beban atau Gaya yang terjadi (N)

D =Diagonal indentasi/ jejak (mm)

HV = *Vickers* result (HV)

= Regangan (%)

= Panjang sesudah putus (mm)

= Panjang mula-mula (mm)

=Kekuatan tarik (N/mm²)

σ = Tegangan Lengkung (N/mm²)

*Fmax* = kekuatan tarik maksimal ( N )

*Ao* = luas penampang awal (mm²)

b = Lebar benda uji (mm)

*F* =Beban maksimum (kgf)

*L* =Jarak point (mm)

*d =*Ketebalan benda uji (mm)

=Sudut puncak indentor

# BAB I PENDAHULUAN

## Latar Belakang

Secara esensial, pengelasan ialah cara menyambung logam dengan mencairkan sebagian dari logam asli dan logam tambahan. Di lingkungan industri, seringkali diperlukan pengelasan dengan material yang berbeda untuk menghasilkan produk yang lebih superior, kuat, dan tahan terhadap karat. Contohnya, penggabungan antara *carbon steel* dan *stainless steel* dapat menciptakan produk yang memiliki kualitas tersebut (Nurisna & Setiawan, 2020).Terdapat berbagai jenis teknik pengelasan, seperti SMAW, GMAW, GTAW, SAW, dan FCAW. Teknik pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) menjadi salah satu opsi untuk menyatukan material *stainless steel* dan *carbon steel*

Las TIG, yang juga dikenal sebagai las GTAW, merupakan jenis pengelasan busur listrik yang menggunakan elektroda yang tidak terbakar dan kontak dengan logam serta logam pengisi. Proses penambahan kawat las dalam pengelasan TIG dapat disesuaikan dengan ketebalan dan konfigurasi sambungan logam yang hendak dihasilkan. Teknik pengelasan busur listrik yang dikenal sebagai las TIG, atau GTAW, melibatkan penggunaan gas pelindung *tungsten*. Dalam konteks ini, pemilihan *tungsten* sebagai elektroda disebabkan oleh tingginya titik leburnya, yang mencapai 3410⁰C, sementara gas pelindung yang sering digunakan adalah argon, helium, atau kombinasi keduanya (Wiryosumarto & Okumura, 2008). Pengelasan GTAW biasanya diaplikasikan pada pembuatan pesawat terbang, kapal laut, peralatan makanan dan lain sebagainya. Pengelasan TIG atau GTAW juga sering diaplikasikan pada pelat tipis dengan ketebalan hingga 5 mm, karena dapat menghasilkan lasan yang bersih dan tahan terhadap karat.

Proses perlakuan panas merujuk pada pengubahan sifat mekanik bahan atau logam melalui kontrol suhu pemanasan dan pendinginan, yang pada akhirnya menghasilkan perubahan struktur mikro (Sonawan, H., & Suartman, R., 2004). Pada umumnya, langkah ini diaplikasikan setelah pengelasan atau perlakuan panas pascapengelasan *(PWHT)* dengan maksud untuk mengurangi tegangan sisa yang mungkin muncul akibat proses pengelasan, sehingga mengurangi risiko terjadinya retakan atau patah saat bahan digunakan. Proses pemanasan pada suhu dan durasi tertentu merupakan cara untuk mengembalikan material ke sifat yang diinginkan, terutama dalam hal ketangguhan (kekuatan), dengan mengembalikan struktur yang telah mengalami perubahan, Pemanasan pasca las dapat dilakukan dengan menempatkan spesimen uji di dalam *oven* atau pemanasan secara lokal di sekitar area las. Pada saat *Post Heating*, parameter yang perlu diperhatikan melibatkan tingkat pemanasan, durasi temperatur, dan tingkat pendinginan.

Penggunaan baja yang tahan terhadap karat sangat umum di sektor teknik, terutama dalam industri besar dan maju seperti peleburan, manufaktur, kimia, dan pangan. Preferensi ini disebabkan oleh kualitasnya yang unggul dibandingkan dengan jenis baja tahan korosi yang lain. Baja tahan korosi, yang dicontohkan oleh baja tahan karat 316L yang populer, menunjukkan kemampuan pengelasan yang ditingkatkan, ketahanan terhadap korosi, dan ketahanan terhadap suhu tinggi dan rendah.

Berdasarkan penelitian (Senakama et al., 2022), pada hasil penelitiannya variasi temperature dan *holdingtime PWHT (Post Heating*) dapat juga mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikronya baja *SS 316 L.*

Berangkat dari gambaran masalah yang telah diuraikan, penulis tertarik untuk menyusun penelitian dengan mengambil tema yang relevan. “**Pengaruh Temperatur *Post Heating* Terhadap Sifat Mekanik Baja *SS* *316 L* Pada Pengelasan GTAW”.**

## Batasan Masalah

Supaya riset sesuai yang direncanakan, maka butuh adanya batasan masalah supaya penelitian ini tidak melebar kearah yang tidak direncanakan, adapun batasan masalahnya yaitu :

1. Material *SS 316 L*.
2. Tahap pengelasan menggunakan metode las GTAW dengan arus sebesar 80A.
3. Elektroda Wolfram Thoriated (EWTh-2), Filler Rod ER308.
4. Proses penyatuan material dilaksanakan dengan memilih sambungan kampuh double V pada pengelasan.
5. Pengujian yang diterapkan dalam riset ini melibatkan pengujian tarik, pengujian bending, dan pengujian kekerasan.
6. Temperatur *Post heating* 650⁰C, 700⁰C, 750⁰C, dan 800⁰C
7. *Holding Time* 30 menit
8. Pendinginan udara

## Rumusan Masalah

Dari persoalan yang telah diuraikian sebelumnya, penyusun merumuskan persoalan seperti di bawah ini:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperature *post heating* 650⁰C, 700⁰C, 750⁰C, dan 800⁰C terhadap kekuatan tarik hasil pengelasan pada material baja *SS 316 L*?
2. Bagaimana pengaruh variasi temperature *post heating* 650⁰C, 700⁰C, 750⁰C, dan 800⁰C terhadap kekuatan *bending* hasil pengelasan pada material baja *SS 316 L*?
3. Bagaimana pengaruh variasi temperature *post heating* 650⁰C, 700⁰C, 750⁰C, dan 800⁰C terhadap kekuatan kekerasan hasil pengelasan pada material baja *SS 316 L*?

## Tujuan Penelitian

Dalam konteks penelitian ini, tujuan yang hendak dicapai adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengevaluasi dampak variasi temperatur *post heating* pada 650⁰C, 700⁰C, 750⁰C, dan 800⁰C terhadap kekuatan tarik hasil pengelasan pada material baja *SS 316 L*
2. Untuk mengevaluasi dampak variasi temperature *post heating* 650⁰C, 700⁰C, 750⁰C, dan 800⁰C terhadap kekuatan *bending* hasil pengelasan pada material baja *SS 316 L.*
3. Untuk mengevaluasi dampak variasi temperature *post heating* 650⁰C, 700⁰C, 750⁰C, dan 800⁰C terhadap kekuatan kekerasaan hasil pengelasan pada material baja *SS 316 L*.

## Manfaat Penelitian

Tujuan yang diinginkan dari riset tersebut adalah sebagaimana diuraikan dibawah ini:

1. Untuk Mahasiswa

Mendapatkan pengetahuan kepada mahasiswa tentang hasil pengelasan baja *SS 316 L* pasca dilakukan pemanasan pengelasan yang terbaik dari empat variasi temperature yang berbeda

1. Untuk Industri

Di gunakan sebagai acuan dalam mengembangkan variasi suhu pemanasan setelah proses pengelasan.

1. Bagi Akademik

Bisa dijadikan sebuah rujukan atau gagasan dalam sebuah pengembangan teknologi pengelasan dimasa yang akan mendatang, khususnya yang menggunakan metode las GTAW dan variasi temperature pemanasan (*Post Heating).*

## Sistematika Penulisan

Pada penyusunan tesis ini pengarang menyusun dengan format penulisan sebagai berikut:

1. Permulaan

Permulaan berisi Bagian Depan (cover), Halaman Judul, Lembar Persetujuan, Kata Pengantar, Daftar isi dan Halaman Isi.

1. Bagian isi skripsi terdiri atas:

|  |  |
| --- | --- |
| BAB I | PENDAHULUAN  Pada bab ini mencakup latar belakang, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian serta sistematika penulisan. |
| BAB II | LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA  Bab ini menjelaskan tentang Landasan Teori yang akan digunakan dan Tinjauan Pustaka yang berisi tentang penelitian-penelitian yang sebelumnya. |
| BAB III | METODOLOGI PENELITIAN  Bab ini berisi tentang Metode Penelitian, Waktu dan Tempat Penelitian, Metode Pengumpulan Data, Metode Analisis Data dan Diagram Alur Penelitian. |
| BAB IV | PEMBAHASAN  Bab ini memuat tentang analisis data-data yang digunakan untuk mencari hasil dari masalah |
| BAB V | PENUTUP  Pada bagian ini memuat tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran dari penulis. |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

# BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

## Landasan Teori

### Baja Tahan Karat

Baja yang memiliki ketahanan terhadap karat termasuk dalam kategori baja karbon. Terdapat tiga jenis klasifikasi untuk baja karbon, yakni baja karbon rendah (C<0,20%), baja karbon sedang (0,20 - 0,50%), dan baja karbon tinggi (C>0,5%), yang semuanya merupakan paduan besi karbon. Kadar karbon yang rendah memberikan sifat-sifat seperti kekuatan yang tinggi, elastisitas yang baik, daya tahan terhadap impak yang tinggi, serta kemampuan pengelasan yang optimal. Baja tahan karat memiliki kecenderungan untuk menjadi rapuh ketika mengalami pemanasan dan pendinginan dalam waktu singkat atau terkena guncangan. Suhu di mana titik lelehnya terjadi adalah sekitar 1.500⁰C. Jenis baja tahan karat mengandung elemen paduan seperti mangan, *molibdenum*, dan *nikel* sebagai tambahan, sehingga memberikan sifat-sifat khusus pada material tersebut.

Baja tahan karat umumnya digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk perabot rumah tangga, dan juga sering diterapkan dalam lingkungan pabrik. Saat digunakan di pabrik, baja tahan karat biasanya diaplikasikan dalam bentuk pipa untuk mengalirkan bahan kimia berbahaya dengan tekanan tinggi. *Stainless steel* merupakan jenis baja paduan yang memiliki kandungan *kromium* minimal 10,5%, sehingga memberikan daya tahan yang tinggi terhadap korosi.. Bahan tersebut diciptakan untuk mengombinasikan besi (Fe) sebagai elemen inti serta *nikel* sebagai elemen pelengkap dalam proporsi tertentu, yaitu *nikel* sekitar 10%-12% (Ni), *kromium* sekitar 16%-18% (Cr), *molibdenum* sekitar 2-3% (Mo), dan sedikit karbon sekitar 0,03% (C). Sehingga, *stainless steel* menjadi material dengan resistensi yang baik terhadap suhu tinggi dan rendah, ketahanan terhadap korosi, ketahanan terhadap goresan, kemampuan pengelasan yang optimal, kekuatan tinggi dengan berat yang ringan, kekerasan, keuletan, densitas tinggi, serta daya tahan terhadap suhu ekstrem.

*Stainless steel* dapat dikelompokkan ke dalam tiga kategori, yaitu *austenitik, ferritik, dan martensitik*, dan perbedaan di antara ketiganya berada dalam susunan unsur yang membentuk *stainless steel* sendiri. Dari ketiga jenis *stainless steel* tersebut, masing-masing terbagi menjadi berbagai variasi atau seri, menyajikan spesifikasi yang lebih khusus dan memudahkan pengenalan logam tersebut.

*Stainless steel* dikelompokkan berdasarkan jumlah *kromium* (Cr), sementara unsur paduan lain ditambahkan guna meningkatkan sifat-sifatnya sesuai dengan kebutuhan aplikasi (Romli, 2019).

### Baja Paduan SS 316 L

Baja Paduan *SS 316 L* memiliki sifat ketangguhan yang baik dan ketahanan terhadap korosi, sehingga sering digunakan dalam industri makanan. *SS 316 L* termasuk dalam kategori logam *austenitik stainless* *steel.* Baja tahan karat *austenitik* memiliki struktur kristal *austenit,* yang memiliki ciri-ciri unik, seperti tidak bersifat magnetik, Menunjukkan sifat kelenturan yang optimal dan ketahanan terhadap korosi yang baik.

Meskipun *stainless steel* memiliki sifat tahan korosi, namun tidak berarti bahwa logam ini sepenuhnya tidak terkena dampak korosi. Sebagai contoh, *stainless steel* bisa terkena karat batas butir, karat sumuran, dan karat retak tegang. Komposisi utama dari *SS 316 L* melibatkan kandungan nikel (Ni), *kromium* (Cr), dan *molibdenum* (Mo). Baja *SS 316 L* memiliki kandungan *kromium* (Cr) sekitar 16% - 18%, nikel (Ni) sekitar 10% - 12%, dan *molibdenum* (Mo) sekitar 2-3%.

### Pengelasan (*welding*)

Pengelasan adalah teknik penyatuan logam dengan cara melelehkan sebagian dari logam dasar dan logam pengisi, bisa dengan atau tanpa tekanan, dan bisa dengan atau tanpa penambahan logam tambahan, sehingga terbentuk sambungan yang berkelanjutan. Pada sektor industri, pengelasan tetap menjadi kebutuhan esensial untuk menggabungkan beragam jenis material. Penggabungan material yang berbeda diperlukan agar dapat menciptakan produk yang memiliki kualitas unggul, seperti menggabungkan *carbon steel* dan *stainless steel* untuk membentuk suatu struktur yang tangguh, tahan terhadap karat, namun tetap ekonomis. Penggabungan jenis material yang berbeda menjadi sebuah tantangan karena adanya perbedaan sifat antara kedua jenis material tersebut (Nurisna & Setiawan, 2020).

### GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*)

Dikenal juga sebagai *Tungsten Inert Gas* (TIG), *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW*)* adalah metode pengelasan yang menggunakan busur listrik dan elektroda yang tidak dapat terbakar atau mencair. Proses pengelasan GTAW atau TIG melibatkan elektroda atau *tungsten* yang berperan utama dalam membentuk busur listrik saat bersentuhan dengan benda kerja, dan logam pengisi yang berbentuk batang pengisi.

Adapun penjelasan mengenai proses *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW*)* dapat dinyatakan sebagai berikut:

1. Menyiapkan mesin las GTAW.
2. Persiapkan benda kerja untuk diletakkan di meja las.
3. Atur posisi pengelasan dengan menempatkan tangan di bawah.
4. Siapkan elektroda yang sesuai.
5. Sesuaikan ampere meter agar berada pada posisi nol untuk mengukur arus, lalu pasang satu penjepit pada kabel yang digunakan untuk menjepit elektroda. Mesin las siap diaktifkan, dan elektroda diasah hingga terjadi percikan api atau lelehan.
6. Setelah dilakukan pengelasan *SUS 316 L,* dilakukan proses pendinginan pada temperatur kamar yang biasa dikenal dengan istilah *normalizing* (Ferdi Sanjaya, Irwin Syahri Cebro, Nurdin 2023).

### *Post Weld Heat Treatment*

*Post Weld Heat Treatment (PWHT)* merupakan prosedur yang diterapkan untuk mengurangi tegangan sisa yang terjadi akibat pengaruh panas setelah pengelasan. Hal ini dicapai dengan memanaskan kembali material di bawah suhu kritisnya dan menahannya selama durasi tertentu sebelum mendinginkannya secara bertahap. Mengurangi suatu tegangan sisa akibat pengelasan dan meningkatkan sifat mekanis material merupakan tujuan dari *Post Weld Heat Threatment* *(PWHT).* Proses *Post Heating* mempengaruhi sifat mekanik material itu sendiri, seperti temperature, *holding time*, dan media pendinginan yang di gunakan (Arifah & Ruswanto, 2020).

### Aplikasi *Post Weld Heat Treatmenrt (PWHT)*

Material baja yang yang mengalami pemanasanan pasca pengelasan biasanya disebut dengan sebutan (*PWHT*), Proses tersebut melibatkan pemanasan ulang suatu bahan pada suhu 6500⁰C, 700⁰C, 750⁰C, 800⁰C, dengan waktu penahanan selama setengah jam. Bahan tersebut akan mengalami perubahan struktur dan ukuran butir sebagai akibat dari efek pemanasan dan pendinginan. Struktur yang tidak seragam atau komposisi yang tidak konsisten menyebabkan akumulasi tegangan sisa dalam material, menjadikannya lebih keras namun dengan sifat ketangguhan yang di bawah rata-rata. Proses perlakuan panas setelah pengelasan dipergunakan untuk mencapai kristal struktur butir yang merata.

Faktor-faktor yang penting agar tujuan dari *Post Weld Heat Treatment* dapat tercapai.

1. Daerah perluasan

Ketika pemanasan terjadi, menyebabkan bahan mengalami pemuaian dan perluasan dimensi *(ekspansi).* Oleh karena itu, perlu diperhatikan bahwa ketika bahan mengalami tekanan, tidak ada hambatan dari materi itu sendiri

1. Tindakan atau Proses mengisolasi

Setelah suatu elemen terinstal dengan tepat, diperlukan penutupan area di sekitarnya guna menjaga stabilitas suhu

1. Persiapan material

Membuang kotoran yang menpel pada baja

1. Bahan pendukung

Selama tahap pemanasan, material akan mengalami pelunakan. Oleh karena itu, material yang sedang menjalani *PWHT* perlu didukung agar tidak mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh gaya gravitasi (Lubis et al., 2022).

### Tahapan Pemanasan dalam *Post Weld Heat Treatment* (PWHT)

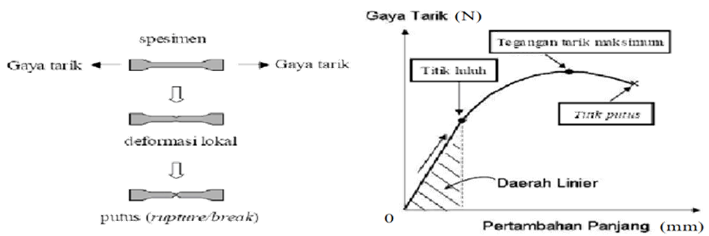
Pasca pembuatan spesimen, tahapan berikutnya adalah menerapkan pemanasan pasca pengelasan, yang sering disebut *Post Weld Heat Treatment (PWHT),* pada bahan. Proses *PWHT* melibatkan pemanasan bahan menggunakan *oven* yang memiliki kapasitas maksimal 1100⁰C, di mana material uji dipanaskan hingga mencapai suhu 800⁰C. Seluruh spesimen uji tarik, uji tekan, dan uji kekerasan dimasukkan bersama ke dalam *oven* dan dipanaskan selama setengah jam. Setelah periode penahanan tersebut, bahan didinginkan menggunakan media pendingin udara, dengan cara mengeluarkan material dari *oven* menggunakan penjepit (Lubis et al., 2022).

### Pengujian Kekuatan Tarik

Uji tarik adalah metode evaluasi yang bertujuan untuk memahami karakteristik dan kondisi suatu logam. Proses uji tarik melibatkan pemberian beban secara gradual, yang mengakibatkan pertambahan panjang sebanding dengan gaya yang diterapkan. Hubungan ini berlanjut hingga material mencapai titik batas proporsionalitas. Setelah mencapai titik ini, pertambahan panjang tidak lagi sebanding dengan peningkatan beban; peningkatan beban yang sama menghasilkan pertambahan panjang yang lebih besar, dan pada suatu titik, terjadi elongasi tanpa penambahan beban, yang disebut sebagai batang uji mencapai titik luluh.

Prosedur uji tarik melibatkan langkah-langkah berikut:

* Menyesuaikan ukuran standar dengan melakukan pengukuran pada benda uji
* Melakukan pengukuran panjang awal (Lo) atau panjang pengukuran dan menentukan luas penampang benda uji.
* Menjadikan spesimen terpasang pada pegangan atas dan bawah mesin pengujian tarik.
* Mengaktifkan mesin uji tarik dan secara bertahap memberikan beban tarik hingga spesimen patah.
* Catat beban luluh dan beban putus yang terbaca pada indikator beban mesin.
* Mengeluarkan spesimen uji dari pegangan atas dan bawah, kemudian menempatkannya kembali ke posisi asal
* Menghitung panjang deformasi yang terjadi akibat regangan.



Gambar 2. 1 Spesimen Uji Tarik

Sumber : (Denti Salindeho et al., 2013)

Tegangan tarik dapat diperoleh dengan membagi tekanan maksimal dengan daerah permukaan penampang pertama spesimen. Persamaan untuk tegangan tarik diungkapkan oleh (Tata Surdia dan Shiinroku Saito pada tahun 2005).

………………………………………………(2.1)

Di mana : = kekuatan tarik ( N/mm²)

*F max* = kekuatan tarik maksimal ( N )

*Ao* = luas penampang awal (mm²)

………………………………………………..(2.2)

Dimana :  = Regangan (%)

= Panjang sesudah putus (mm)

= Panjang mula-mula (mm)

Metode umum di dalam pengukuran kelenturan, untuk mendapatkannya melalui uji tarik, ialah dengan menggunakan ketegangan teknikal ketika spesimen mengalami putus. Regangan dihitung dengan membandingkan perbedaan jangka waktu lama sesudah putus terhadap jangka waktu semula,lalu hasilnya dibagi oleh panjang awal. Formula untuk menghitung regangan telah diajukan oleh (Tata Surdia dan Shiinroku Saito pada tahun 2005).

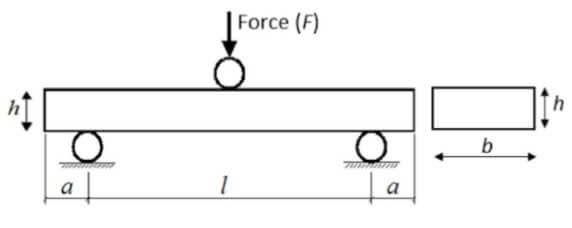
Walaupun tegangan tarik sering menjadi hasil yang diperoleh dari uji tarik, sejatinya hal tersebut kurang fundamental dalam menilai kekuatan suatu material. Kekuatan tarik pada logam yang fleksibel sebaiknya dikaitkan dengan beban maksimum yang dapat ditanggung oleh logam dalam kondisi yang sangat terbatas. Hal ini akan dijelaskan bahwa nilai tersebut memiliki hubungan yang sangat minim dengan manfaat kekuatan logam. Dalam kasus tegangan yang lebih rumit, yang sering dihadapi, sudah menjadi umum untuk mengandalkan kekuatan struktur pada kekuatan tarik, kemudian menguranginya menggunakan faktor keamanan yang sesuai. Meskipun ada kecenderungan untuk mengadopsi pendekatan yang lebih rasional dengan merancang struktur logam berdasarkan kekuatan luluhnya, dalam praktiknya, penggunaan kekuatan tarik untuk menentukan kekuatan material tetap lebih umum dan bermanfaat. Metode ini terkenal dan efektif dalam mengenali material, serupa dengan pemanfaatan komposisi kimia untuk mengidentifikasi logam atau materi lainnya. Selain itu, karena kekuatan tarik mudah diukur dan merupakan sifat yang dapat direproduksi dengan mudah, kekuatan tarik sangat bermanfaat untuk menentukan spesifikasi material dan pengendalian kualitas. Dalam bidang desain, korelasi empiris antara kekuatan tarik dan karakteristik material seperti kekerasan dan kekuatan fatik sering dipergunakan, khususnya untuk bahan yang rentan rapuh, menjadikan kekuatan tarik sebagai kriteria yang sesuai.

### Uji Lengkung

Pengujian fleksibilitas, juga dikenal sebagai uji tekukan, dapat diterapkan pada material yang bersifat rapuh. Ketika diterapkan pada bahan yang fleksibel, tujuannya adalah untuk mengidentifikasi cacat dan retakan pada permukaannya. Selain itu, uji tekuk juga dapat mengevaluasi kemampuan perubahan bentuk bahan dengan ukuran, radius tekuk, dan sudut tekuk tertentu, dengan menerapkan perubahan bentuk tertentu. Material berbahan tipis dapat dibengkokkan melalui penahan cekam, sedangkan material berbahan tebal bisa dibengkokkan menggunakan dongkrak hidrolik (Tata Surdia, 2005).

Pengetesan kefleksibelan pada material yang memiliki karakteristik tangguh dan rapuh merupakan metode yang optimal untuk menilai kekuatan dan ketangguhan, karena:

a) Benda uji simpel serta cocok sebagai alat uji untuk material yang sulit dikerjakan.

b) Saat melakukan pengujian ini, yang diinginkan adalah memperoleh patahan ideal dari material yang cenderung rapuh.

Gambar 2. 2 Skema Uji Bending

(sumber Kenyon 1985)

Gambar 2.7 Skema uji bending

Persamaan kekuatan tegangan bending :

…………………………………………………(2.3)

Dimana :

σ = Tegangan Lengkung (N/mm²)

P = Beban atau Gaya yang terjadi (N)

L = Jarak point (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Ketebalan benda uji (mm)

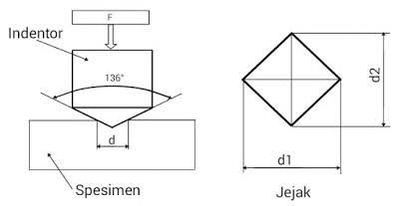
### Uji Kekerasan Vikers

### a) Kekerasan *Vickers* (*Vickers Hardness Test*)

Metode ini menggunakan piramida berbentuk berlian yang diaplikasikan ke permukaan material. Nilai kekerasan *Vickers* dinyatakan dalam HV (*Vickers Hardness*).

Pengujian kekerasan *Vickers* dilakukan untuk:

1. Pengujian kekerasan *Vickers* digunakan untuk menentukan kekerasan suatu material, yang merupakan indikasi langsung dari kekuatan dan ketahanan terhadap deformasi plastis. Untuk memastikan bahwa dapat menahan beban dan tekanan yang akan dihadapi dalam aplikasi nyata.
2. Dalam konteks pengelasan, pengujian kekerasan *Vickers* digunakan untuk memeriksa kualitas dan konsistensi dari sambungan las.ini membantu memastikan bahwa sambungan las memiliki sifat mekanis yang sesuai dan tidak ada kelemahan atau cacat yang signifikan.



Gambar 2. 3 Uji Vickers

Sumber : (Widiyarta & Sucipta, 2018)

Rumus :

VHN = Angka kekerasan *Vickers*

VHN=

= ……………………………………………………………..…( 2.4)

Dimana : VHN = Hardness Vickers Number (HV)

P =Beban yang digunakan ( Kgf)

=Sudut puncak indentor = 136⁰

D =Diagonal indentasi/ jejak (mm)

## Tinjauan Pustaka

1. (Syafa’at et al., 2018) dalam penelitiannya yang berjudul Analisa Kekuatan Sambungan Las Argon Pada Stainless Stell 304 Menggunakan Variasi Kaut Arus. Pada penelitian ini proses pengelasan yang digunakan adalah GTAW atau TIG dengan gas Argon. Penelitian ini menggunakan variasi arus 60 A, 70 A, 80 A. Berdasarkan hasil pengujian spesimen dengan arus 80 A memiliki tegangan tarik maksimal tertinggi 744,162 MPa. tegangan tarik terendah pada arus 70 A dengan nilai 598,435 MPa. Dan regangan tertinggi 82 % pada arus 80 A Hubungan antara kekuatan tarik dan struktur mikro semakin besar butiran logam yang dihasilkan maka tegangan luluhnya semakin kecil. Karena panas yang dihasilkan tidak cukup membuat elektroda tungsten dan bahan tambahnya meleleh dengan baik.
2. Penelitian dari (M. Diky R, Rusnoto & Soebyakto, 2019). Dalam penelitiannya yang berjudul “Analisa Hasil Pengelasan Baja ST 37 dengan Arus Terhadap Sifat Mekanis” menggunkan pengelasan SMAW dengan variasi arus 90A, 100A dan 110A , dipeoleh hasil penelitiannya adalah kuat tarik las yang paling baik yaitu pada arus 100A sebesar 453,95 N/, kemudian arus 90A sebesar 448,2 N/ dan arus 110A sebesar 440,77 N/. Untuk kuat bending paling baik yaitu pada arus 90A sebesar 58,21 N/, kemudian arus 100A sebesar 56,72 N/ dan arus 110A sebesar 56,62 N/. Sedangkan pada uji harga impak terbaik yaitu pada arus 110A sebesar 0,42J/, kemudian pada arus 100A sebesar 0,2J/ dan pada arus 90A sebesar 0,135J/.

Relevansi penelitian (M. Diky R, Rusnoto & Soebyakto, 2018) dengan penelitian ini yaitu penggunaan las SMAW, material baja yang digunakan dan melakukan pengujian sifat mekanik benda uji berupa uji tarik, tekan dan impak. Sedangkan perbedaannya adalah jenis elektroda yang digunakan dan penelitian tersebut berfokus pada pengaruh variasi arus terhadap sifat mekanis.

1. (Romli, 2019) dalam penelitiannya yang berjudul Analisis Sifat Mekanis Pengaruh Proses Pengelasan Baja Tahan Karat.. Dari hasil pengujian komposisi didapat 9,04 % Nikel, 70,23 % Ferrous, 1,97 % Mangan, 18,74 % Crom, stainless steel yang diuji termasuk ke dalam tipe SUS 304 (menurut standar JIS) dengan kekuatan tarik 609,06 N/mm² . Dari hasil pengujian kekerasan, angka kekerasan Vickers yang paling tinggi adalah 181 HV, karena mendapat perlakuan proses pengelasan (di daerah logam las). Angka kekerasan Vickers yang sedang adalah 167 HV (di daerah logam las). Angka kekerasan Vickers yang paling rendah adalah 138 HV, karena tidak mendapat perlakuan proses pengelasan (di daerah logam induk).
2. (Hariyanto & Mangando, 2019) dalam penelitiannya yang berjudul Pengaruh Kekerasan Terhadap Variasi *Post Weld Heat Treatment* Dissimilar Metals Antara Baja Karbon (St42) Dan Baja Tahan Karat (Aisi 304). Dari data yang dikumpulkan, dapat disimpulkan bahwa kuantitas heat input memiliki dampak pada distribusi kekerasan. Semakin besar heat input, nilai kekerasan pada zona *HAZ Stainless Steels* dan zona lasan cenderung menurun. Selain itu, besarnya heat input juga memengaruhi nilai kekerasan pada zona lasan dengan menunjukkan peningkatan nilai kekerasan.
3. (Nurisna & Setiawan, 2020) dalam penelitiannya yang berjudul Pengaruh Filler Pada Pengelasan Tig Baja Karbon Dan Stainless Steel 316 L Terhadap Sifat Mekanik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemilihan bahan pengisi yang sesuai pada penyambungan logam tak sejenis antara SS316L dan baja karbon rendah dengan metode pengelasan TIG. Karakteristik mekanis variasi filler ER316L dan ER70S diuji dengan uji kekuatan tarik dan kekerasan mikro vickers. Nilai kekuatan tarik dan kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen yang dilas dengan filler ER70S sebesar 410 MPa dan 398,1 HVN (Hardness Vickers Number). Berdasarkan hasil penelitian, filler ER70S lebih cocok digunakan antara pengelasan pada baja tahan karat dan baja karbon rendah.
4. (Widodo et al., 2020) dalam penelitiannya yang bertujuan untuk mengetahui Pengelasan GTAW pada *Stainless Steel Grade* yang Berbeda untuk Aplikasi pada Pembangkit Listrik. Menghubungkan berbagai jenis logam induk dengan menggunakan variasi kekuatan arus dan logam pengisi merupakan suatu proses penyambungan logam dasar yang berbeda, melibatkan variasi kekuatan arus dan logam pengisi. Dalam penelitian ini, dilakukan pengelasan antara *Stainless Steel* tipe 304 dan 316L dengan variasi kuat arus dan logam pengisi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat arus optimal untuk pengelasan ini adalah 80A, dengan logam pengisi 309L. Meskipun logam pengisi 309L menghasilkan nilai kekerasan tertinggi, secara keseluruhan, penggunaan kuat arus 80A dengan kedua jenis logam pengisi, 309L, menghasilkan nilai kekerasan yang hampir serupa.
5. (Ramandani et al., 2020) dalam penelitian yang bertujuan untuk mengetahui. Dampak Perlakuan Panas Pasca Pengelasan *(PWHT)* Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Sambungan Las *Stainless Steel*. Penelitian ini menggunakan material las dari baja tahan karat 301 dengan filler E308. Proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan teknik pengelasan TIG dengan pendinginan alami, kemudian dilakukan perlakuan panas pasca pengelasan pada berbagai temperatur, yaitu 250°C, 450°C, dan 650°C, dengan menggunakan air sebagai media pendingin. Pengamatan struktur mikro dan uji kekerasan dilakukan pada setiap spesimen. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa baja tahan karat 301 setelah perlakuan panas pengelasan didominasi oleh adanya *ferit* dan *austenit* yang mengalami perubahan bentuk dan ukuran butir. Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan nilai kekerasan setelah dilakukan perlakuan panas, dimana nilai kekerasan tertinggi terjadi pada perlakuan dengan temperatur 650°C, yaitu sebesar 289,73 VHN.
6. (Arifah & Ruswanto, 2020) dalam penelitian yang bertujuan untuk mengetahui Efek *Post Weld Heat Treatment* terhadap sifat Mekanik *AISI* 316 Hasil Pengelasan *GTAW*. Penelitian ini menggunakan material *AISI* 31 dengan elektroda *tungsten* tak cair berdiameter 3,2 mm, *filler rod* NSN – 316 LR dan gas argon 99%. Metode penelitian ini dilakukan dengan variable bebas bebas yaitu *holding time* selama 1,2,3 jam. Ramaeter tetap yang digunakan pada temperature 550⁰C dan pendinginan yang dilakukan dalam furnance tertutup hingga mencapai suhu ruang. Hasil uji kekerasan mikro bagian lasan 500,5 HV dan terendah 302,1 HV, sedangkan hasil dari uji kekuatan tarik tertinggi 520 N/mm² dan terendah 411.3 N/ mm². Lama penahanan pada proses *PWHT* memiliki dampak signifikan terhadap kekerasan mikro dan kekuatan tarik material.
7. (M. Agus Shidiq & M, fajar Sidiq, 2022), buku ini adalah salah satu upaya untuk memberikan pengetahuan dasar dan wawasan tentang Ilmu Logam. Dalam kimia, sebuah logam atau metal dalam bahasa Yunani disebut Metallon adalah material sebuah unsur, senyawa, atau paduan yang biasanya keras tak tembus cahaya, berkilau, dan memiliki konduktivitas listrik dan termal yang baik. Logam umumnya liat, yaitu dapat ditempa atau ditekan permanen hingga berubah bentuk tanpa patah atau retak dan juga fusibel (bisa dilelehkan) dan ulet (dapat ditarik hingga membentuk kawat halus). Sekitar 91 dari 118 unsur dalam tabel periodik adalah logam; sisanya adalah nonlogam atau metaloid.
8. (Ciptanto Lubis P et al., 2022) dalam penelitian yang berjudul Analisa Pengaruh Variasi Waktu Post Weld Heat Treatment Pada Pengelasan Smaw Baja A36 Terhadap Kekuatan Uji Tarik, Uji Impak,dan Struktur Mikro. Baja A 36 memiliki potensi keretakan las yang tinggi, maka perlu dilakukan (PWHT) Post Weld Heat Treatment. Tujuan penelitian untuk mendapatkan kekuatan tarik, impak dan struktur mikro pada pengelasan SMAW (shielded Metal Arc Welding) dengan menggunakan variasi waktu PWHT. Menggunakan metode eksperimen yang dilakukan secara langsung dalam semua proses pekerjaanya. Hasil yang didapat, tegangan tarik Non PWHT mendapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 46,01 Mpa, PWHT 1 jam sebesar 461,44 Mpa, dan PWHT 3 jam material mendapatkan hasil terkecil sebesar 455,80 Mpa. Nilai regangan RAW material sebesar 38,13%, PWHT 3 jam lebih baik banding PWHT 2 jam dengan rata-rata 33,73%, PWHT 2 jam sebesar 22,33%, PWHT 1 jam sebesar 21,37%, dan Non PWHT sebesar 23,15%. Nilai modulus elastisitas RAW sebesar 154,74 Gpa, PWHT 1 jam sebesar 242,50 Gpa, PWHT 2 jam sebesar 254,64 Gpa, PWHT 3 jam sebesar 167,16 Gpa, dan nilai Non PWHT sebesar 262,23 Gpa. Hasil uji impak absorb energy tertinggi pada PWHT 2 jam sebesar 1,921 Joule/mm², Non PWHT sebesar 0,485 Joule/mm², dan RAW material sebesar 1,662 Joule/mm². Struktur mikro daerah base metal, HAZ, dan weld metal memiliki ferit dan perlit. Baja A 36 tanpa perlakuan panas memiliki kekuatan yang lebih besar, maka hasil yang mendekati Non PWHT adalah nilai terbaik.
9. (Senakama et al., 2022) dalam penelitian yang bertujuan untuk mengetahui Pengaruh *PWHT* Pada Baja ST 41 Pada Proses Laku Panas Dengan Variasi Temperatur Pemanasan Dan *Holding Time* Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro. Penelitian ini menggunakan baja ST 41 dengan elektroda E 7018, dan salah satu metode yang digunakan untuk meredakan tegangan sisa adalah *Post Heating*. Proses pengelasan dilakukan dengan metode SMAW dalam posisi pengelasan 1G. Proses *PWHT* dilakukan melalui *normalizing* dengan variasi temperatur 900⁰C, 925⁰C, dan 950⁰C, dengan waktu penahanan masing-masing 10, 20, dan 30 menit. Pengujian mencakup uji impak *Charpy*, uji kekerasan *Rockwell C*, dan uji struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi temperatur dan waktu penahan pada proses *PWHT* dapat memengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro baja ST 41. Hasil uji impak menunjukkan bahwa sampel dengan *PWHT* pada temperatur 925⁰C dan waktu penahan 10 menit memiliki nilai impak tertinggi, yaitu 3,53 j/mm², yang menunjukkan kekerasan dan keuletan lebih baik dibandingkan dengan sampel tanpa *PWHT* yang memiliki nilai impak 2,19 j/mm². Meskipun demikian, pada uji kekerasan, sampel tanpa *PWHT* menunjukkan tingkat kekerasan tertinggi mencapai 53,17 HRC, menandakan sifat keras, namun rentan terhadap kerapuhan.
10. (Lubis et al., 2022) dalam penelitian yang bertujuan untuk mengetahui Pengaruh Variasi Waktu *Post Weld Heat Treatment*. Dalam proses Pengelasan SMAW pada Baja A36 untuk Uji Kekuatan Tarik, Uji Impak, dan Struktur Mikro, hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi Non *PWHT*, tegangan tarik mencapai nilai tertinggi, yakni 46,01 Mpa. Setelah menerapkan *PWHT* selama 1 jam, kekuatan tarik meningkat menjadi 461,44 Mpa, sementara pada material yang mengalami *PWHT* selama 3 jam, kekuatan tarik mencapai nilai terendah, yaitu 455,80 Mpa. Nilai regangan material yang menjalani *PWHT* selama 1 jam adalah sebesar 21,37%, sedangkan pada kondisi Non *PWHT* mencapai 23,15%. Modulus elastisitas RAW material sebesar 154,74 Gpa, sedangkan setelah *PWHT* selama 1 jam, nilai modulus elastisitas meningkat menjadi 262,23 Gpa. Hasil uji energi serap impak menunjukkan nilai tertinggi pada *PWHT* selama 2 jam, yaitu sebesar 1,921 Joule/mm², sedangkan pada kondisi Non *PWHT* mencapai 0,485 Joule/mm², dan material RAW sebesar 1,662 Joule/mm². Struktur mikro pada base metal, *HAZ*, dan *weld metal* terdiri dari *ferit* dan *perlit*. Baja A36 tanpa perlakuan panas menunjukkan kekuatan yang lebih tinggi, sehingga hasil yang mendekati kondisi Non *PWHT* dianggap sebagai nilai optimal.
11. (Rusnoto, Agung Prasetyo N, Irfan S, 2022) dalam penelitiannya yang bertujuan untuk mengetahui Variasi Temperatur Pemanasan Mula Pada Sifat Mekanik Pengelasan Baja *SS400.* Kekerasan hasil pengelasan baja *SS400* yang sebelumnya dilakukan variasi suhu preheating pada plat logam baja *SS400*. Bahan dan alat yang digunakan adalah material Baja *SS400,* Elektroda AWS e7018, mesin las. Spesimen awalnya berbentuk lembaran plat yang kemudian dibentuk menjadi specimen uji. Setelah specimen uji jadi. Langkah selanjutnya di *heat treatment* menggunakan tungku pemanasan dengan temperature 90,100, dan 110⁰C dengan waktu tahan 30 menit. Dari data hasil pengujian penelitian ini yaitu pada pengujian kekerasan dan bending menunjukan adanya pengaruh dari proses *preheating* pada pengelasan logam plat baja *SS400* yaitu adanya peningkatan nilai kekerasan tertinggi pada temperature 110⁰C sebesar 8.41 HB, dan kekuatan bending pada suhu *preheating* 110⁰C sebesar 18,62 N/mm², dibandingkan dengan yang tanpa dilakukan proses *preheating* sebelum dilakukan pengelasan.
12. (Sanjaya et al., 2023) dalam penelitiannya yang bertujuan untuk mengetahui Pengaruh Arus Pengelasan Gtaw Terhadap Ketangguhan Dan Struktur Mikro Sambungan Las Pada Material Sus 201. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui uji impak dan perubahan struktur mikro pada SUS 201 setelah mendapat pengelasan khususnya pada daerah las, dan HAZ. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan proses SMAW (Shielded Metal Arc Welding) dan dilakukan variasi arus pengelasan 50A, 100, dan 160A. Posisi pengelasan dengan menggunakan posisi pengelasan mendatar atau bawah tangan, jenis kampuh yang di gunakan adalah kampuh V dengan sudut 60°. Spesimen di lakukan pengujian Impak metode Charpy dengan standar ASTM E-23. Hasil pengujian, harga impak tertinggi pada arus pengelasan 160A sebesar 3,68 joule/mm2. Jenis-jenis perpatahan yang terjadi pada material SUS 201 adalah patahan campuran. Sedangkan untuk struktur mikro didaapatkan fasa ferit dan perlit pada arus pengelasan 50A dan 100A.

# BAB III METODE PENELITIAN

## Metode Penelitian

Tesis ini mengusung metode eksperimental sebagai cara untuk menemukan hubungan sebab-akibat antara dua faktor yang diatur oleh peneliti. Pengaruh faktor-faktor lain yang dapat memengaruhi hasil penelitian dikurangi atau dihapuskan.

Sebagai contoh, jenis baja tahan karat yang digunakan ialah *Stainless Steel* tipe 316 L, yang termasuk dalam kategori baja tahan karat *(Stainless Steel).* Material ini menjalani proses pengelasanGTAW, diikuti dengan pemanasan pasca pengelasan *(Post Heating)* dalam *oven* pada suhu 650⁰C, 700⁰C, 750⁰C, dan 800⁰C. Selanjutnya, dilakukan pendinginan menggunakan media pendingin udara (pendinginan lambat). Setelah itu, material ini mengikuti serangkaian pengujian, termasuk uji tarik, uji tekan, dan uji kekerasan.

## Waktu dan Tempat Penelitian

Strategi riset, juga dikenal sebagai rencana pelaksanaan, merincikan berbagai tahapan penelitian mulai dari persiapan awal hingga penyelesaian akhir. Fungsi dari jadwal penelitian ini adalah untuk menetapkan batas waktu yang jelas guna mencapai target penyelesaian riset.

Tabel 3. 1 Susunan Jadwal Riset

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No | Tahap Kegiatan | Bulan Ke | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1. | Persiapan |  |  |  |  |  |  |
| a. Studi Literatur |  |  |  |  |  |  |
| b. Penyusunan Proposal |  |  |  |  |  |  |
| c. Persiapan alat dan bahan |  |  |  |  |  |  |
| 2. | Pelaksanaan |  |  |  |  |  |  |
| a. Seminar Proposal |  |  |  |  |  |  |
| b. Pembuatan Spesimen |  |  |  |  |  |  |
| c. Pengujian Spesimen |  |  |  |  |  |  |
| 3. | Penyelesaian |  |  |  |  |  |  |
| a. Pengolahan data |  |  |  |  |  |  |
| b. Penyusunan Laporan |  |  |  |  |  |  |
| c. Ujian Skripsi |  |  |  |  |  |  |

Riset ini dikerjakan di dua lokasi yakni

1. Langkah pengujian tarik, pengujian lengkung *(bending),* pengujian kekerasan.

Lokasi: Lab. UGM Tegal

1. Pembuatan spesimen

Lokasi: PT. Putra Bungsu, Tegal

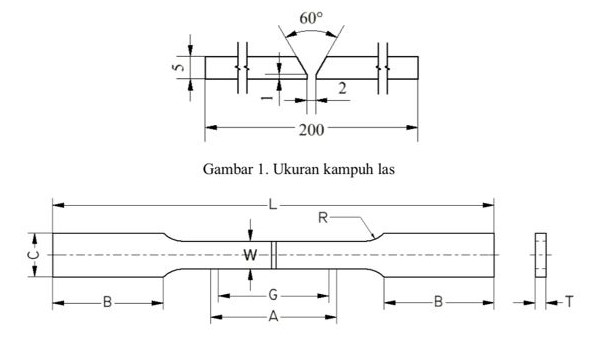
1. Proses perlakuan panas (*Post Heating*)

Lokasi: Lab. UPS Tegal

## Alat Penelitian dan Rancangan Uji

1. Peralatan:
2. Mesin *CNC Plasma*
3. Jangka sorong digunakan untuk mengukur specimen.
4. Spidol
5. Mesin Las GTAW
6. *Glove*, penutup wajah
7. Alat pemanas yang dimanfaatkan dalam eksperimen ini berfungsi untuk memanaskan sampel hingga mencapai suhu di atas titik *austenit.*
8. Mesin uji tarik
9. Mesin uji *bending*
10. Mesin uji kekerasan *Vickers*
11. Bahan :
12. Material baja *stainless steel* 316 *L*
13. *Tungsten wolfram thoriated* (EWTh-2)
14. Filler rod ER 308
15. Desain Sampel Pengujian
16. Sampel pengujian tarik

Sampel pengujian tarik menggunakan ukuran standart ASTM E8-09



Gambar 3. 1 Dimensi Spesimen Uji Tarik

Sumber: (Ahmad Saefudin, Abdul Qolik, 2020)

Keterangan:

1. Panjang = 200 mm
2. Lebar= 20 mm
3. Tebal =5 mm

Untuk menghitung kekuatan tarik digunakan persamaan (2.2)

1. Sampel Pengujian Lengkung (*Bending)*

Spesimen uji lengkung menggunakan ukuran standart ASTM E190

Gambar 3. 2 Dimensi Spesimen Uji lengkung/tekan

Sumber : (ASTM, 2003)

Keterangan :

Panjang : 150 mm

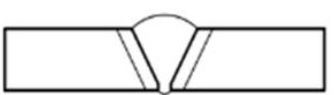
Lebar : 25 mm

Tebal :5 mm

Untuk menghitung kekuatan bending digunakan persamaan (2.4)

1. Sampel Pengujian Kekerasan *Vickers*

Spesimen uji kekerasan *Vickers* menggunakan ukuran standart

ASTM E92

Gambar 3. 3 Dimensi Spesimen Uji Kekerasan Vickers

Sumber: (Nitiswati, 2013)

Keterangan:

Panjang : 25mm

Lebar: 10mm

Tebal : 5mm

Untuk menghitung kekerasan *Vickers* digunakan persamaan (2.1)

## Teknik Pengambilan Sampel

Baja tipe 316 L yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kandungan karbon kurang dari 0,03%. Wujud dan dimensi spesimen mengikuti regulasi *American Standard Testing and Materials* (ASTM). Keseluruhan sampel yang bakal terpakai ialah 45, lebih detail :

1. Pada pengujian tarik
2. Raw material sebanyak 3 material
3. Variasi temperatur *post heating* 650⁰C sebanyak 3 sampel
4. Variasi temperatur *post heating* 700⁰C sebanyak 3 sampel
5. Variasi temperatur *post heating* 750⁰C sebanyak 3 sampel
6. Variasi temperatur *post heating* 800⁰C sebanyak 3 sampel
7. Pada pengujian lengkung (*bending)*
8. Raw material sebanyak 3 sampel
9. Variasi temperatur *post heating* 650⁰C sebanyak 3 sampel
10. Variasi temperatur *post heating* 700⁰C sebanyak 3 sampel
11. Variasi temperatur *post heating* 750⁰C sebanyak 3 sampel
12. Variasi temperatur *post heating* 800⁰C sebanyak 3 sampel
13. Pada pengujian kekerasan
14. Raw material sebanyak 3 sampel
15. Variasi temperatur *post heating* 650⁰C sebanyak 3 sampel
16. Variasi temperatur *post heating* 700⁰C sebanyak 3 sampel
17. Variasi temperatur *post heating* 750⁰C sebanyak 3 sampel
18. Variasi temperatur *post heating* 800⁰C sebanyak 3 sampel

## Variabel Penelitian / Fenomena yang diamati

Variabel riset didasarkan untuk mencakup karakteristik atau atribut yang diamati, diukur, atau dimanipulasi dalam suatu penelitian. Dapat disimpulkan bahwa terdapat tiga kelompok variabel yang akan diterapkan dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas (*independen*) dan variabel terikat (*dependen)* dan variable terkontrol.

1. Variabel Bebas

Variabel bebas atau *independen* dalam konteks matematika atau statistik merujuk pada variabel yang memiliki nilai yang dapat bervariasi tanpa pembatasan khusus. Variabel *independen* tidak tergantung pada variabel lain dan sering menggambarkan input atau faktor yang dapat diubah dalam eksperimen atau model. Dalam konteks penelitian ini, variabel *independen* mencakup variasi temperatur pada *Post Welding Heat Treatment*, dengan temperatur yang bervariasi antara 650⁰C, 700⁰C, 750⁰C, dan 800⁰C, serta mempertahankan waktu penahanan dalam kurun waktu setengah jam dalam mesin pemanas yaitu menggunakan sistem udara.

1. Variabel terikat

Variabel terikat atau *dependen* dalam konteks eksperimen atau model adalah variabel yang nilainya bergantung pada variabel *independen*. Variabel terikat ini sering kali merupakan hasil atau output dari suatu proses dan mengalami perubahan sebagai respons terhadap manipulasi variabel bebas. Dalam eksperimen ini, yang melibatkan evaluasi komposisi material, kekuatan tarik, kekuatan bending, dan nilai kekerasan dari proses pengelasan dan pendinginan pada baja *SS 316 L*, variabel terikatnya mencakup uji kekuatan tarik, uji kekuatan bending, dan uji kekerasan.

1. Variabel terkontrol

Variabel kontrol merupakan jenis variabel yang dapat mempengaruhi hasil dari pada variabel terikat, pengaruh yang dihasilkan dalam variabel ini adalah pengaruh yang tidak diinginkan, oleh karena itu agar tidak mengganggu hasil dari variabel terikat yang di sebabkan oleh variabel bebas maka variabel kontrol ini harus harus di jaga dan di kontrol agar nilainya tetap konstan atau tidak berubah selama eksperimen. Untuk variabel kontrol pada penelitian ini yaitu laju pendinginan, alat uji tarik, alat uji tekan/ lengkung dan alat uji kekerasan.

Fenomena yang diamati yaitu sifat mekanik yang terjadi pada baja SS 316 L setelah dilakukan variasi waktu post heating

## Metode Pengumpulan Data

Beberapa teknik pengumpulan data melibatkan proses menghimpun informasi atau fakta untuk mendukung penelitian atau analisis. Beberapa metode yang umumnya digunakan dalam persiapan penelitian ini melibatkan:

1. Eksperimen

Metode eksperimental seringkali diterapkan dalam penelitian ilmiah. Maksud dari penelitian eksperimental ini adalah untuk mengevaluasi hubungan sebab-akibat antara variabel yang diubah (variabel bebas) dengan variabel yang diukur (variabel terikat).

Pada riset ini, plat stainles yang dipakai ialah *SS 316 L* untuk diaplikasikan dalam komponen mesin pencacah rumput. Proses melibatkan pengelasanGTAW pada baja *SS 316 L*, diikuti oleh pemanasan setelah pengelasan *(Heat Treatment)* dalam *oven* dan pendinginan menggunakan media pendingin udara. Setelah itu, dilakukan serangkaian pengujian termasuk pengujian tarik, pengujian bending, dan pengujian kekerasan.

## Analisis Data

Setelah pengumpulan data selesai, tahap berikutnya adalah melakukan interpretasi data, di mana capaian eksperimen akan diinput ke pada rumus kalkulasi yang telah tersedia untuk menghasilkan data kuantitatif. Data berjenis kuantitatif ini terdiri dari angka-angka yang memberikan penjelasan atau gambaran mengenai perbandingan hasil raw material dan hasil pengelasan dengan *PWHT* pada berbagai temperatur, yaitu 650⁰C, 700⁰C, 750⁰C, dan 800⁰C dengan menggunakan metode pengelasan GTAW.

Berikut ini adalah lembar analisis data yang digunakan dalam konteks penelitian ini.

Tabel 3. 2 Lembar Pengujian Tarik

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Variabel | Pengujian | | Pengujian Tarik | | | | | | | | | | |
| l  Lebar  (mm) | | T  Tebal  (mm) | | A  Luas Penampang  (mm²) | | Pmax  (N) | | ∆L  (mm) | Tegangan  (MPa) | Regangan  (%) |
| RAW | 1 | |  | |  | |  | |  | |  |  |  |
| 2 | |  | |  | |  | |  | |  |  |  |
| 3 | |  | |  | |  | |  | |  |  |  |
| Rata-rata | | | | | | | | | | | |  |  |
| Pengelasan dengan PWHT 650⁰C | | 1 | |  | |  | |  | |  |  |  |  |
| 2 | |  | |  | |  | |  |  |  |  |
| 3 | |  | |  | |  | |  |  |  |  |
| Rata-rata | | | | | | | | | | | |  |  |
| Pengelasan dengan  PWHT 700⁰C | | 1 | |  | |  | |  | |  |  |  |  |
| 2 | |  | |  | |  | |  |  |  |  |
| 3 | |  | |  | |  | |  |  |  |  |
| Rata-rata | | | | | | | | | | | |  |  |
| Pengelasan dengan  PWHT 750⁰C | | 1 | |  | |  | |  | |  |  |  |  |
| 2 | |  | |  | |  | |  |  |  |  |
| 3 | |  | |  | |  | |  |  |  |  |
| Rata-rata | | | | | | | | | | | |  |  |
| Pengelasan dengan  PWHT 800⁰C | 1 | | |  | |  | |  | |  |  |  |  |
| 2 | | |  | |  | |  | |  |  |  |  |
| 3 | | |  | |  | |  | |  |  |  |  |
| Rata-rata | | | | | | | | | | | |  |  |

Tabel 3. 3 Lembar Pengujian Kekerasan Vickers

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Variasi Suhu  Post Heating  (⁰C) | | *D 1*  Diagonal indentasi/ jejak  (mm) | *D 2*  Diameter  Indentasi/jejak  (mm) | P  Beban yang diberikan  (Kgf) | VHN  Kekerasan *Vickers*  (HV) |
| Raw | A |  |  |  |  |
| B |  |  |  |  |
| C |  |  |  |  |
| Rata-rata | | | | |  |
| 650⁰C | A |  |  |  |  |
| B |  |  |  |  |
| C |  |  |  |  |
| Rata-rata | | | | |  |
| 700⁰C | A |  |  |  |  |
| B |  |  |  |  |
| C |  |  |  |  |
| Rata-rata | | | | |  |
| 750⁰C | A |  |  |  |  |
| B |  |  |  |  |
| C |  |  |  |  |
| Rata-rata | | | | |  |
|  | A |  |  |  |  |
| B |  |  |  |  |
| C |  |  |  |  |
| Rata-rata | | | | |  |

Tabel 3. 4 Lembar Pengujian Bending

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Variabel | Pengujian | b  Lebar  (mm) | L  Panjang  (mm) | d  tebal  (mm) | P  Beban  (N) | Kekuatan *Bending*  (N/*mm*²) | Rata-rata Tegangan Bending (MPa) |
| RAW | 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |
| Pengelasan dengan PWHT 650⁰C | 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |
| Pengelasan dengan  PWHT 700⁰C | 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |
| Pengelasan dengan  PWHT 750⁰C | 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |
| Pengelasan dengan  PWHT 800⁰C | 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |

## Diagram Alur Penelitian

Studi bahan

Data Sekunder

1. Pengelasan GTAW
2. Arus 80-120 A
3. Filler E308
4. Suhu PWHT 250⁰C- 650⁰C
5. Jurnal,Skripsi,Buku

Data Primer

1. Pengelasan GTAW
2. Arus 80 A
3. EWTh-2
4. Filler Rod ER308
5. Suhu PWHT 650⁰C,700⁰C,750⁰C,800⁰C

Pembuatan Spesimen

Proses Pengelasan GTAW

Raw Material

*PWHT*

Suhu 800⁰C

Suhu 650⁰C

Suhu 750⁰C

Suhu 700⁰C

Pendinginan udara

Pengujian

Uji Tarik

Uji Bending

Uji Kekerasan

Analisa Data

Hasil dan Kesimpulan