

**ANALISIS PENGARUH *POST-WELD HEAT TREATMENT*
(*PWHT*) TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK PADA
SAMBUNGAN *ROTARY FRICTION WELDING (RFW)* BAJA
AISI 1006**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Excel Rifki Fachreza

No. Mahasiswa : 16525113

NIRM : 2016080703

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2021

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, saya yang bertanda tangan dibawah ini Excel Rifki Fachreza mengakui penelitian ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan gambar yang sudah saya beri sumbernya. Jika kemudian hari pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan karya tulis maka saya bersedia menerima sanksi yang sudah ditetapkan. Demikian surat pernyataan ini dibuat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 27 Agustus 2021



Excel Rifki Fachreza

NIM: 16525113

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**ANALISIS PENGARUH *POST-WELD HEAT TREATMENT*
(*PWHT*) TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK PADA
SAMBUNGAN *ROTARY FRICTION WELDING* (*RFW*) BAJA
AISI 1006**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

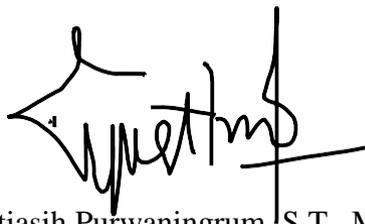
Nama : Excel Rifki Fachreza

No. Mahasiswa : 16525113

NIRM 2016080703

Yogyakarta, 13 Agustus 2021

Pembimbing I,



Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**ANALISIS PENGARUH *POST-WELD HEAT TREATMENT*
(*PWHT*) TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK PADA
SAMBUNGAN *ROTARY FRICTION WELDING* (*RFW*) BAJA
AISI 1006**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

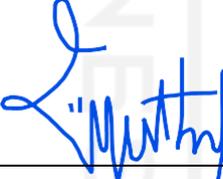
Nama : Excel Rifki Fachreza

No. Mahasiswa : 16525113

NIRM 2016080703

Tim Penguji

Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.
Ketua


Tanggal : 27 Agustus 2021

Muhammad Khafidh, S.T., M.T., Ph.D.
Anggota I


Tanggal : 27 Agustus 2021

Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng.
Anggota II


Tanggal : 27 Agustus 2021

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar.

Terimakasih kepada Allah SWT yang telah memberikan nikmat berupa kesehatan, ilmu, rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian ini.

Terimakasih kepada Nabi Muhammad SAW karena telah membawa umat manusia dari zaman kegelapan ke zaman yang terang-benderang ini. Semoga diberikan syafaatnya kelak.

Terimakasih kepada kedua orang tua saya Drs. Sri Haryanto dan Lilis Ratih Handayani, S.E. beserta seluruh keluarga yang selalu memberi dukungan dan doa dalam hal apapun.

Terimakasih kepada seluruh bapak dan ibu dosen Teknik Mesin UII yang sudah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengajar sehingga saya dan seluruh mahasiswanya menjadi lebih baik.

Sekali lagi, terimakasih. Semoga penelitian yang sudah saya tulis ini dapat berguna dan bermanfaat bagi siapapun yang mau belajar dan juga untuk generasi setelah saya. Amiin.

HALAMAN MOTTO

“GREAT MEN ARE NOT BORN GREAT, THEY GROW GREAT”

– VITO CORLEONE

“SIT DOWN, BE HUMBLE” – KENDRICK LAMAR



KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Syukur alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyusun Tugas Akhir yang berjudul: “**Analisis Pengaruh *Post-Weld Heat Treatment (PWHT)* Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Pada Sambungan Las *Rotary Friction Welding (RFW)* Baja AISI 1006**”. Atas izin-Nya penulis masih diberikan kesempatan, kesehatan, dan kemampuan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak .Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Ayah dan Ibu yang senantiasa memberi dukungan dalam bentuk apapun sehingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan.
2. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir, yang telah memberi arahan, saran dan motivasi hingga terselesaikannya Tugas Akhir.
4. Seluruh Dosen dan Karyawan di lingkungan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Terimakasih telah membantu penulis selama kuliah dan penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Pak Lilik selaku pembimbing ketika melakukan pengujian material di Laboratorium Pengujian Material Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.
6. Rachnaldy Putra selaku rekan dan sobat *welder* dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
7. Teman-teman Angkatan 2016 Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
8. SMEW *Creative Lab* yang setia memberikan ruang kerja selama proses penyusunan laporan tugas akhir.

Akhir kata, penulis meminta maaf apabila terdapat kesalahan dalam Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat di kemudian hari bagi siapapun yang membutuhkan. Terimakasih.

Yogyakarta, 18 Agustus 2021



Excel Rifki Fachreza
NIM : 16525113



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari proses *Post-Weld Heat Treatment (PWHT)* terhadap sifat fisik dan mekanik pada sambungan las *Rotary Friction Welding (RFW)* baja AISI 1006. Parameter pengelasan yang digunakan untuk kecepatan rotasi 1170 Rpm, durasi gesek 5 menit, dan jarak tempa 3 mm + 2 mm. Untuk parameter PWHT metode yang digunakan *Normalizing* dengan variasi suhu 300 °C, 400 °C, dan 500 °C dengan durasi penahanan selama 90 menit. Pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa material yang digunakan tergolong dalam baja karbon rendah. Pada pengujian *Dye Penetrant*, 4 dari 30 spesimen mengalami cacat porositas. Logam induk memiliki kekuatan tertinggi pada pengujian tarik dan bending. Dari seluruh variasi, temperatur 400 °C memiliki kekuatan tarik tertinggi dengan nilai rata-rata 354,7 MPa. Untuk pengujian bending, temperature 300 °C memiliki kekuatan tertinggi dengan nilai rata-rata 291,17 MPa. Struktur logam pada setiap variasi PWHT di daerah HAZ terlihat lebih rapat berdasarkan pengamatan struktur mikro, struktur pearlite pada variasi 500 °C terlihat lebih banyak dari variasi temperatur yang lainnya. Pada pengamatan struktur makro tidak terlihat adanya kecacatan, sambungan terlihat samar karena tidak adanya *filler* dan juga material yang digunakan *similar*. Pengujian korosi menunjukkan seluruh variasi dan logam induk memiliki ketahanan korosi yang baik.

Kata kunci: *RFW, AISI 1006, PWHT.*

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the influence of post-weld heat treatment (PWHT) on physical and mechanical properties of rotary friction welding (RFW) welded joints of AISI 1006 steel. The rotation speed parameters used in this welding is 1170 rpm, with friction time of 5 minutes, and forging distance 3 mm + 2 mm. For the PWHT parameters, normalizing method is used with temperature variations is 300 °C, 400 °C, and 500 °C with 90 minutes of holding time. Chemical composition testing shows that the material used is classified as low carbon steel. Dye penetrant test shows that 4 out of 30 specimens had porosity defects. The parent metal has the highest strength in tensile and bending tests. From all variations, the temperature of 400 °C has the highest tensile strength with an average value of 354.7 MPa. For the bending test, the temperature of 300 °C has the highest strength with an average value of 291.17 MPa. The metal structure in each variation of PWHT in the HAZ region looks denser based on the observation of the microstructure, the 500 °C PWHT variation got more pearlite than the other temperature variations. On macro structure observation, there is no visible defect, the welded joints can not be seen clearly because there is no filler used and the material is similar. Corrosion testing shows all variations and the parent metal has good corrosion resistance.

Key words : RFW, AISI 1006, PWHT.

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	v
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vi
Abstrak.....	viii
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Notasi.....	xvi
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	4
2.1 Kajian Pustaka	4
2.2 Dasar Teori	5
2.3 Baja.....	5
2.4 Pengelasan	6
2.5 Heat Treatment	8
2.6 Pengujian Material.....	9
2.6.1 Uji Penetran	9

2.6.2	Uji Korosi	10
2.6.3	Uji Metalografi	11
2.6.4	Pengujian Tarik.....	12
2.6.5	Pengujian Lengkung.....	13
2.6.6	Pengujian Kekerasan Vickers.....	13
Bab 3 Metode Penelitian.....		15
3.1	Alur Penelitian	15
3.2	Peralatan dan Bahan	16
3.3	Proses Persiapan Spesimen.....	17
3.4	Proses Pengelasan.....	18
3.5	Proses Persiapan Pengujian	18
3.6	Proses Post-Weld Heat Treatment.....	20
3.7	Proses Pengujian.....	21
3.7.1	Pengujian Komposisi.....	21
3.7.2	Pengujian Cairan Penetrant	21
3.7.3	Pengujian Tarik.....	22
3.7.4	Pengujian Bending.....	23
3.7.5	Pengujian Kekerasan	24
3.7.6	Pengujian Struktur Mikro dan Makro.....	25
3.7.7	Pengujian Korosi	26
Bab 4 Hasil dan Pembahasan.....		27
4.1	Hasil Pengelasan.....	27
4.2	Hasil Uji Komposisi	29
4.3	Pengujian Dye Penetrant	30
4.4	Pengujian Tarik.....	30
4.5	Pengujian Bending.....	34
4.6	Pengamatan Struktur Mikro dan Makro	37
4.7	Pengujian Kekerasan Vickers.....	38

4.8	Pengujian Laju Korosi	40
Bab 5 Penutup.....		42
5.1	Kesimpulan.....	42
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	43
Daftar Pustaka.....		44



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Nama Alat.....	16
Tabel 3.2 Bahan	16
Tabel 4.1 Suhu Proses Pengelasan.....	28
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Komposisi	29
Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro	37
Tabel 4.4 Hasil Pengamatan Struktur Makro	38
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Korosi.....	40
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Laju Korosi	41
Tabel 4.7 Standar Laju Korosi (Fontana, 1986)	41



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi Pengelasan	7
Gambar 2.2 Parameter <i>Rotary Friction Welding</i>	8
Gambar 2.3 Pengujian Penetran	10
Gambar 2.4 Kurva Tegangan dan Regangan	12
Gambar 2.5 Metode <i>Three-Point Bending</i>	13
Gambar 3.1 Pemotongan material	17
Gambar 3.2 Proses <i>facing</i>	17
Gambar 3.3 Proses Pengelasan	18
Gambar 3.4 Proses Pembersihan <i>Flash</i>	19
Gambar 3.5 Proses Pembuatan Spesimen Uji Tarik	19
Gambar 3.6 Pembuatan Spesimen Uji Kekerasan, Komposisi, dan Mikrostruktur.	20
Gambar 3.7 Proses PWHT	20
Gambar 3.8 Pengujian Komposisi	21
Gambar 3.9 Pengujian <i>Penetrant</i>	22
Gambar 3.10 Spesimen Uji Tarik	22
Gambar 3.11 Mesin UTM hidrolik	23
Gambar 3.12 Standar Uji <i>Bending</i> ASTM E290	23
Gambar 3.13 Proses Pengamplasan	24
Gambar 3.14 Titik Pembebanan Pengujian Kekerasan	25
Gambar 3.15 Mikroskop Optik	25
Gambar 4.1 Hasil Pengelasan	27
Gambar 4.2 <i>Arbor</i> Yang Mengalami Patah	29
Gambar 4.3 Hasil Pengujian <i>Dye Penetrant</i>	30
Gambar 4.4 Standar Uji Tarik JIZ 2201	31
Gambar 4.5 Standar Uji Tarik ASTM E8	32
Gambar 4.6 Hasil Pengujian Uji Tarik	32
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Hasil Uji Tarik	33
Gambar 4.8 Hasil Patahan Pengujian Tarik	34
Gambar 4.9 Grafik Uji <i>Bending</i>	35

Gambar 4.10 Perbandingan Kekuatan Uji Bending	36
Gambar 4.11 Lengkungan Spesimen Pengujian <i>Bending</i>	36
Gambar 4.12 Grafik Pengujian Kekerasan Vickers.....	39



DAFTAR NOTASI

HAZ = Heat Affected Zone

PWHT = Post-Weld Heat Treatment

RFW = Rotary Friction Welding



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Metode penggabungan logam sudah diketahui sejak abad ke-19, akan tetapi sebagian besar metode penggabungan yang digunakan hanyalah metode tempa yang digunakan oleh pandai besi. Pada akhir abad ke-19, beberapa prinsip pengelasan yang baru sudah mulai muncul seperti las resistansi listrik dan las busur (Weman, 2003). Meskipun banyak metode banyak penggabungan logam seperti *mechanical fastening*, *adhesive bonding*, dan *solid-phase welding* yang sudah banyak dipakai, las gesek digunakan sebagai alternatif untuk penyambungan logam. Salah satu jenis pengelasan gesek yaitu *Rotary Friction Welding* (RFW), dalam pengelasan ini komponen yang diputar akan ditekan ke komponen yang stasioner. Jenis pengelasan RFW cocok untuk pengelasan baja karbon dan jenis logam lainnya. Material *dissimilar* juga dapat di las menggunakan metode ini. Pengelasan gesek terjadi ketika kedua permukaan diberi kontak dan dipanaskan melalui panas gesek yang dihasilkan dari gesekan lalu diberi tekanan tempa untuk didapatkan sambungan las (Yilbas dan Sahin, 2014).

Heat Treatment (Perlakuan Panas) adalah suatu proses yang bertujuan untuk menyebabkan perubahan yang diinginkan dalam struktur metalurgi dan juga sifat-sifat pada bagian logam. Proses perlakuan panas dapat mempengaruhi sifat dari kebanyakan logam dan logam paduan, tetapi besi paduan, khususnya baja mengalami perubahan sifat yang paling drastis dalam proses ini. Secara umum, struktur baja yang paling stabil didapat pada saat baja dipanaskan sampai temperature *austenite* dan didinginkan secara perlahan dibawah kondisi *near-equilibrium*. Perlakuan panas seperti ini juga biasa disebut *annealing* atau *normalizing* yang memproduksi tegangan sisa yang rendah, dan strukturnya dapat dilihat melalui diagram *equilibrium*. Namun, sifat yang menarik dari perlakuan panas yaitu meningkatkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi tetapi mengakibatkan tegangan sisa yang tinggi. (Totten dan Howes, 1997)

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang dirumuskan pada penelitian ini berdasarkan latar belakang yang sudah disampaikan oleh penulis yaitu; Bagaimana pengaruh perlakuan panas pada sambungan las baja AISI 1006 dengan metode penyambungan RFW terhadap sifat fisik dan mekanik material?

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan inti pada penelitian ini terarah maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Proses pengelasan spesimen dengan metode RFW dilakukan menggunakan mesin bubut yang terdapat pada Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
2. Proses *Post-Weld Heat Treatment* dilakukan menggunakan *furnace* yang terdapat pada Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
3. Material yang digunakan pada spesimen adalah baja AISI 1006.
4. Kecepatan putar *spindle* mesin bubut yang dilakukan pada saat penyambungan adalah 1170 RPM dan Durasi *friction time* pada saat proses penyambungan yaitu 5 menit.
5. Metode perlakuan panas yang digunakan yaitu *normalizing* dengan variasi suhu 300°C, 400 °C, dan 500°C dengan durasi *holding time* 90 menit.
6. Pengujian yang dilakukan pada spesimen sambungan adalah pengujian komposisi kimia, pengujian *dye penetrant*, pengujian tarik, pengujian *bending*, pengujian kekerasan *vickers*, pengujian metalografi struktur mikro, dan pengujian korosi.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan yang sudah ditulis, tujuan dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas *normalizing* pada sambungan las RFW terhadap sifat fisik dan mekanik material baja AISI 1006.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari sambungan las baja AISI 1006 menggunakan metode *rotary friction welding* dengan *friction time* 5 menit dengan dan tanpa perlakuan panas.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pembahasan, tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab. Bab I berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan. Bab II berisi kajian pustaka dan teori-teori yang melandasi dari penelitian. Bab III berisi alur penelitian, alat dan bahan serta metode pengerjaan penelitian. Bab IV membahas mengenai hasil-hasil yang sudah diperoleh dari penelitian dan pembahasan dari hasil-hasil tersebut. Sedangkan kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk penelitian dijelaskan di Bab V.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Dalam jurnal yang ditulis oleh (Ma, dkk., 2015) melakukan analisis tentang pengaruh perlakuan panas terhadap sambungan las dengan metode *rotational friction welding* (RFW) dengan material *dissimilar* baja karbon 1045 dan baja tahan karat 304. Pengelasan dilakukan menggunakan *continuous drive friction welding machine* dengan tekanan tempa maksimal 40 kN dengan kecepatan putar 2200 rpm. Setelah dilakukan pengelasan, specimen akan diberi perlakuan panas dengan variasi suhu 300°C, 400°C, 500°C, dan 600°C dengan durasi *holding time* 1 jam lalu dilakukan pendinginan di atmosfer argon dan dilanjutkan di suhu ruangan untuk mencegah oksidasi pada sambungan las. *Flash* yang terbentuk pada sisi baja karbon lebih banyak jika dibandingkan dengan baja tahan karat, tidak ada cacat las seperti *welding cracks* dan pori-pori pada sambungan las. Mikrostruktur yang terbentuk pada sambungan las yaitu *ferrite*. Untuk difusi elemen dan komposisi fasa pada sambungan las, terbentuk *chromium carbides* seperti (Cr, Fe)₇C₃ dan Cr₇C₃ terbentuk pada sambungan las. Jumlah akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pada saat perlakuan panas. Kekuatan tarik terbaik didapat pada suhu 400°C dengan kekuatan tarik sebesar 890 MPa dan mengalami perpanjangan 16%. Jumlah *chromium carbides* pada baja karbon 1045 merupakan faktor krusial yang mempengaruhi *fracture behavior* pada specimen yang diberi perlakuan panas dan tidak diberi perlakuan panas.

Dalam penelitian yang ditulis oleh (Moustafa, 2018) melakukan analisis tentang pengaruh dari perlakuan thermal dan perlakuan mekanik terhadap performa leleh pada sambungan las gesek. Penelitian ini menggunakan *continuous drive rotary friction welding* dengan mesin RSM 200 untuk mengelas material *dissimilar* dari baja tahan karat AISI 316L dan baja karbon AISI 1012 dengan variasi *friction pressure* 1.5 bar dan 3 bar, variasi *friction time* 1 detik dan 3 detik, dan variasi *rotational speed* 12000 rpm dan 16000 rpm. Setelah dilas specimen akan diberi perlakuan panas dengan 4 variasi. Variasi yang pertama yaitu besi

dipanaskan dengan suhu 900°C dengan durasi *holding time* 30 menit lalu didinginkan dengan suhu ruangan, variasi kedua akan dipanaskan dengan suhu 1050°C dengan durasi *holding time* 30 menit lalu didinginkan dengan suhu ruangan, variasi ketiga dipanaskan dengan suhu 1050°C dengan durasi *holding time* 30 menit lalu didinginkan dengan air, dan variasi yang terakhir dipanaskan dengan suhu 885°C dengan durasi *holding time* 120 menit lalu didinginkan dengan suhu ruangan. Setelah itu spesimen akan diberi perlakuan mekanik *shot peening optimization* yang bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa, dan perlakuan *roller burnishing* yang bertujuan untuk memperhalus permukaan pada spesimen las. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, nilai kekerasan tertinggi di sambungan las didapat pada spesimen yang diberi perlakuan panas suhu 900°C dan didinginkan pada suhu ruangan dengan nilai kekerasan 235 HV. *Shot peening optimization* dan *roller burnishing* meningkatkan umur lelah dari sambungan besi dari 320 MPa menjadi 400 MPa dan 410 MPa, peningkatan sekitar 30%.

2.2 Dasar Teori

2.3 Baja

Baja karbon (*Carbon Steel*) adalah logam yang mempunyai unsur utama Fe dan unsur kedua yang berpengaruh terhadap sifat-sifatnya adalah karbon. Penambahan unsur karbon pada baja sangatlah berpengaruh pada tingkat kekerasan suatu bahan yang akan diproses menjadi barang yang berhubungan dengan permesinan maupun lainnya. Dan juga menentukan keuletan dan kegetasan suatu bahan tersebut pada saat uji kekerasannya (Amanto, 1999). Baja karbon dapat dibagi menjadi 3 golongan, yaitu:

1. Low Carbon Steel

Low Carbon Steel adalah baja yang mempunyai kandungan karbon 0,025% - 0,30%. Karena memiliki kandungan karbon yang rendah serta struktur mikro yang berupa *ferrite* dan *pearlite* sehingga baja karbon rendah ini memiliki sifat lunak dan kekuatannya rendah, namun memiliki ketangguhan dan keuletan yang sangat baik.

2. Medium Carbon Steel

Medium Carbon Steel adalah baja yang mempunyai kandungan karbon antara 0,30% - 0,6%. Baja jenis ini sering digunakan untuk alat perkakas mesin, digunakan di sektor industri, fabrikasi, dan konstruksi.

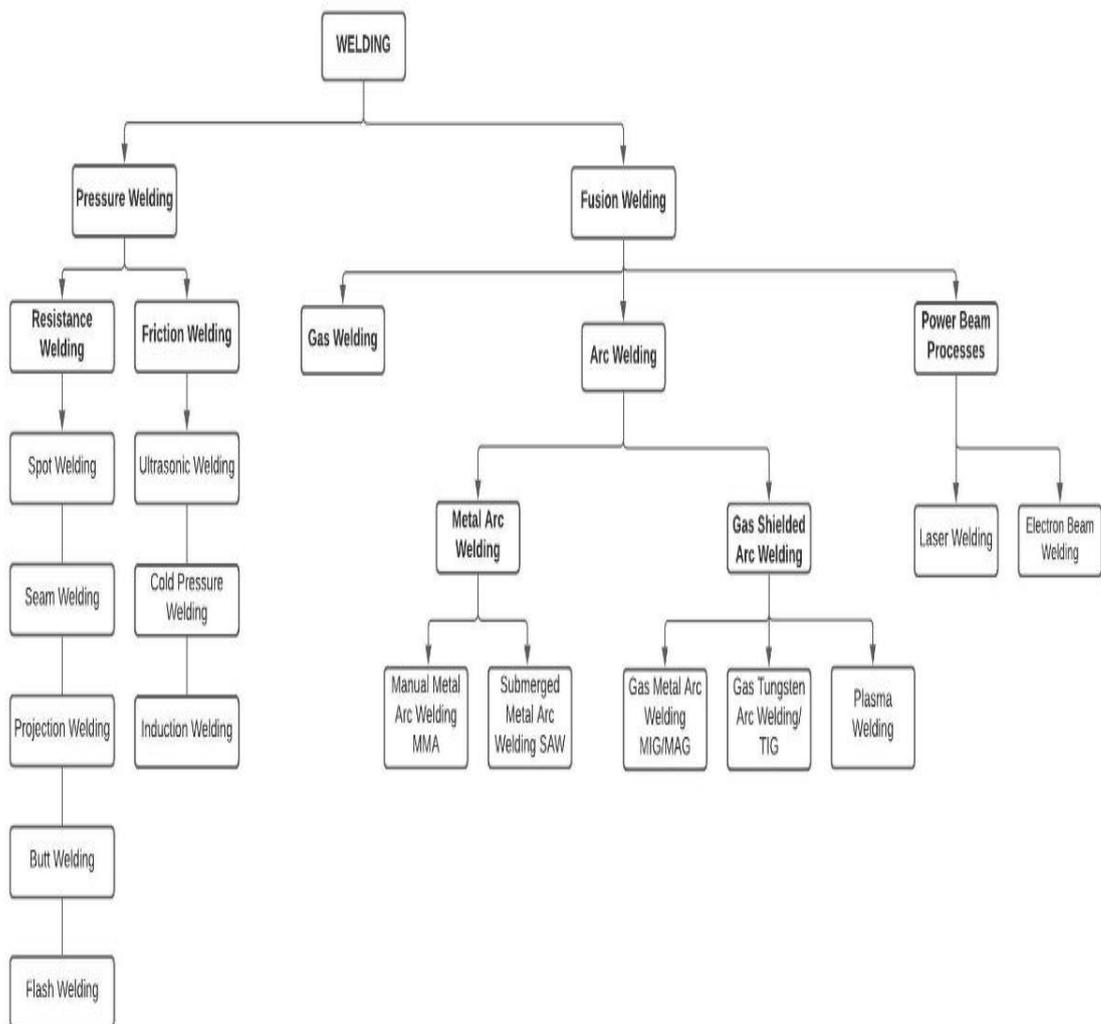
3. High Carbon Steel

High Carbon Steel adalah baja yang mempunyai kandungan karbon sekitar 0,6% - 1,4%. Baja jenis ini memiliki kekuatan yang paling tinggi, namun disisi lain juga baja ini sangat getas. *High Carbon Steel* digunakan untuk alat alat perkakas, kikir, pahat bubut, dan lain-lain.

2.4 Pengelasan

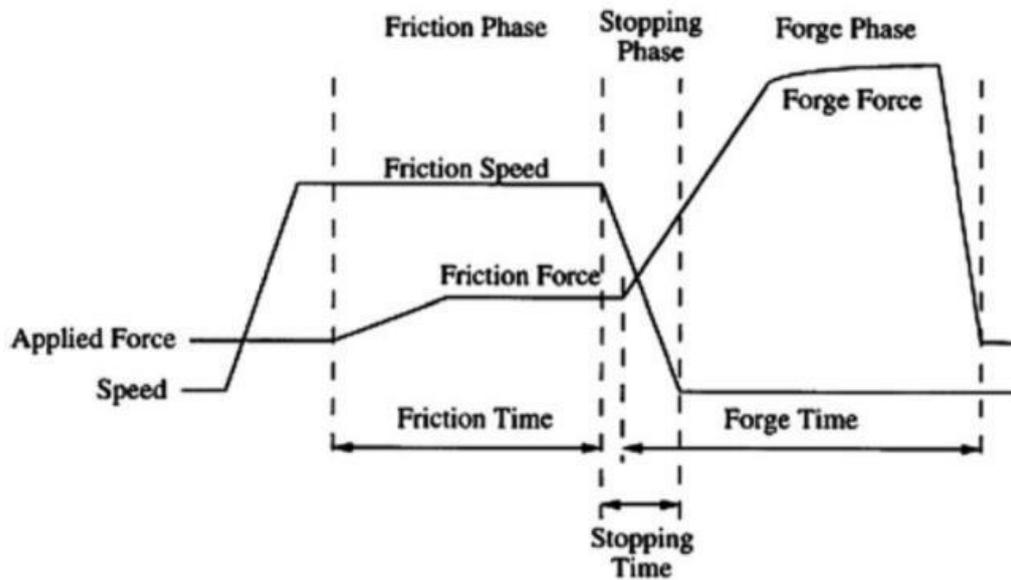
Pengelasan adalah proses dimana panas akan diberikan kepada benda kerja berupa logam, lalu dilelehkan dan disatukan sehingga terbentuk suatu ikatan yang permanen (Geary dan Miller, 2011). Dalam istilah dasar, pengelasan dibagi menjadi 2 jenis, yaitu *Pressure Welding* dan *Fusion Welding* seperti pada gambar 2.1. *Pressure Welding* adalah pengelasan dimana gaya dari luar dan panas akan diaplikasikan untuk menyebabkan deformasi plastis yang lebih atau lebih sedikit pada kedua permukaan logam yang saling berhadapan dan tanpa diberi logam pengisi (*filler*). *Fusion Welding* adalah pengelasan tanpa penerapan gaya dari luar yang menghadap ke permukaan yang akan dilebur dan ditambahkan dengan logam pengisi (Weman, 2003).

RFW merupakan salah satu jenis *Pressure Welding*, pada pengelasan ini komponen yang berputar akan diberi gaya menekan yang berlawanan dengan komponen yang stasioner agar menghasilkan energi panas. Pada pengelasan ini terdapat 3 fase yaitu *friction phase*, *stopping phase*, dan *forging phase* seperti pada gambar 2.2 (Yilbas dan Sahin, 2014).



Gambar 2.1 Klasifikasi Pengelasan

Sumber : (Weman, 2003)



Gambar 2.2 Parameter *Rotary Friction Welding*

Sumber : (Yilbas dan Sahin, 2014)

2.5 Heat Treatment

Heat Treatment adalah sebuah proses memanaskan dan mendinginkan yang diberikan kepada logam dan paduan pada kondisi padat (*solid state*) yang dilakukan agar tercapainya sifat-sifat yang diinginkan. Tujuan dari proses ini untuk membuat logam lebih cocok secara struktur dan fisik untuk beberapa penggunaan tertentu (Rajan, dkk., 2011). *Heat Treatment* dilakukan untuk beberapa tujuan tertentu, yaitu:

1. Meningkatkan keuletan.
2. Menghilangkan tegangan sisa.
3. Memperbaiki ukuran butir.
4. Meningkatkan kekerasan atau kekuatan tarik dan merubah komposisi kimia.

Post Weld Heat Treatment (PWHT) adalah proses perlakuan panas yang dilakukan setelah pengelasan. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa yang terbentuk akibat proses pengelasan. Material yang dipanaskan atau didinginkan akan mengalami perubahan struktur dan ukuran butir (*grain size*). Struktur yang tidak homogen ini menyimpan tegangan sisa sehingga membuat material memiliki sifat yang lebih keras dan menyebabkan ketangguhan yang

rendah. Untuk mengembalikan sifat tangguh dari material, maka dilakukan pemanasan terhadap material tersebut agar struktur yang berubah dapat kembali lagi seperti semula dengan durasi waktu tertentu dan juga tergantung dari material tersebut (Vlack, 1981).

2.6 Pengujian Material

Pengujian material adalah salah satu cara untuk mengetahui kualitas dari suatu material. Yang dimaksud dari dalam hal ini yaitu sifat fisik dan mekanik. Jika ditinjau dari prosesnya, pengujian digolongkan menjadi 2 macam yaitu (Budiyanto dan Handono, 2020):

1. Pengujian Merusak (*Destructive Test*)

Pengujian merusak merupakan pengujian yang dilakukan terhadap suatu material sampai material tersebut mengalami kerusakan. Pengujian ini biasanya dilakukan dengan memberi suatu besaran tertentu sesuai dengan ukuran spesimen berdasarkan standar yang sudah ditentukan. Pengujian ini pada umumnya lebih mudah dilakukan dan didapat nilainya. Pengujian yang merusak meliputi uji kekerasan, uji tarik, uji impact, uji lengkung, uji fatik, dan uji mulur.

2. Pengujian Tidak merusak (*Non-Destructive Test*)

Pengujian tidak merusak adalah pengujian yang dilakukan tanpa merusak benda yang diuji untuk mengetahui kecacatan, retak, discontinuitas lain pada material, dan menjamin bahwa material yang digunakan masih aman serta tidak melewati batas *damage tolerance*. Jenis jenis pengujian tidak merusak adalah uji visual, uji cairan penetran, *Magnetic Particle Testing*, *Eddy Current Test*, *Ultrasonic Inspection*, *radiographic test*, dan uji kebocoran.

2.6.1 Uji Penetran

Uji penetran adalah pengujian yang menggunakan cairan berwarna terang lalu disemprot pada benda uji untuk mengetahui cacatnya. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengetahui keretakan atau kerusakan yang terdapat pada material solid. Cairan penetran memiliki viskositas rendah dan penetrasi yang tinggi, setelah dibersihkan dengan cairan pembersih lalu diaplikasikan cairan *developer*, maka

akan diketahui cacat pada material setelah cairan penetran terlihat pada permukaan. Langkah pengujian penetran dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pengujian Penetran

Sumber : (Syahid, 2021)

2.6.2 Uji Korosi

Korosi dapat terjadi karena logam bersentuhan atau mengalami kontak dengan lingkungan sekitar. Logam akan selalu berusaha menyesuaikan diri dengan lingkungan sekitar agar dapat stabil, sehingga dalam udara terbuka logam akan melepaskan elektron lalu elektron tersebut ditangkap dan bereaksi dengan uap air (reduksi oksigen). Reaksi oksidasi yang terjadi pada logam dan reduksi oksigen udara terbuka akan menghasilkan oksida logam yang warnanya coklat. Oksida ini yang biasa dikenal dengan korosi dan proses tersebut biasa terjadi apabila logam dicelup ke dalam air. Penurunan kualitas ini biasa dikenal dengan istilah korosi (Gapsari, 2017).

Metode kehilangan berat (*weight gain loss*) digunakan untuk menghitung laju korosi yaitu dengan menghitung massa logam yang telah dilakukan pembersihan dari oksida yang dinyatakan sebagai massa awal, lalu diletakkan dalam lingkungan yang dapat memicu korosi dalam jangka waktu tertentu dan

dihitung kembali massa logam setelah terjadi korosi dan dinyatakan sebagai massa akhir. Persamaan nilai laju korosi dihasilkan melalui persamaan sebagai berikut:

$$\text{Corossion Rate} = \frac{K \times W}{A \times t \times \rho} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan:

K = konstanta

W = kehilangan berat (g)

A = luas sampel (cm²)

t = waktu (jam)

ρ = massa jenis (g/cm³)

2.6.3 Uji Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui bentuk susunan struktur yang ada pada material logam. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro yang terdapat pada logam dan sifat-sifat yang terdapat pada logam tersebut. Struktur yang terdapat pada logam mempunyai ukuran yang sangat kecil serta bentuknya yang tidak beraturan. Analisis Metalografi dibedakan menjadi dua bagian, yaitu:

1. Analisis Makroskopi

Analisis makroskopi adalah pengamatan struktur yang dilakukan setelah diberi perlakuan panas, penambahan unsur atau pengujian mekanis dengan perbesaran tertentu. Pengamatan struktur makro dilakukan menggunakan kamera lensa pembesar dengan perbesaran sekitar 0,5 hingga 50 kali.

2. Analisis Mikroskopi

Analisis mikroskopi adalah pengamatan yang dilakukan untuk melihat gambaran dari kumpulan fasa dan juga struktur mikro yang terdapat pada logam. Pengujian ini biasanya dilakukan sebelum dan sesudah logam diberi perlakuan panas.

2.6.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan pengujian yang dilakukan untuk menunjukkan perilaku bahan terhadap beban yang diberikan. Benda uji akan diberikan beban tarik secara kontinyu dan bersifat merusak. Bersamaan dengan itu, dilakukan pengamatan terhadap beban maksimal yang dapat diterima oleh material, nilai perpanjangan yang dialami benda uji, dan kurva uji tarik dari spesimen uji seperti gambar 2.4. Dengan itu didapati persamaan tegangan dan regangan sebagai berikut:

$$\text{Tegangan: } \sigma = \frac{P}{A} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan:

σ = Tegangan (N/mm²)

P = Beban (N)

A = Luas Penampang (mm²)

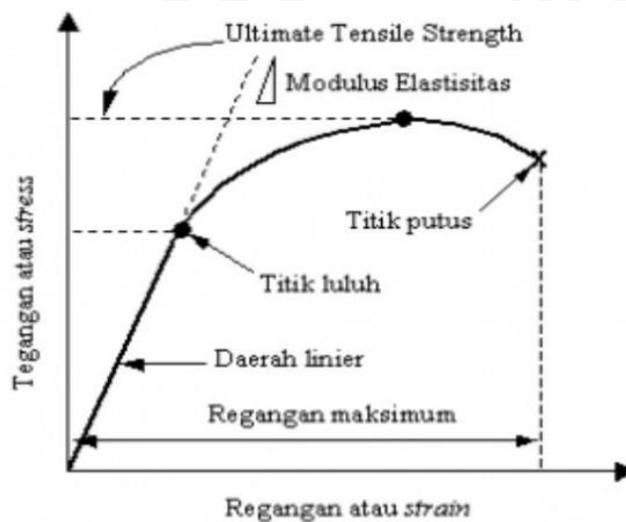
$$\text{Regangan: } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan;

ε = Regangan (%)

ΔL = Penambahan panjang (mm)

L_0 = Panjang awal (mm)



Gambar 2.4 Kurva Tegangan dan Regangan

Sumber : (Andi)

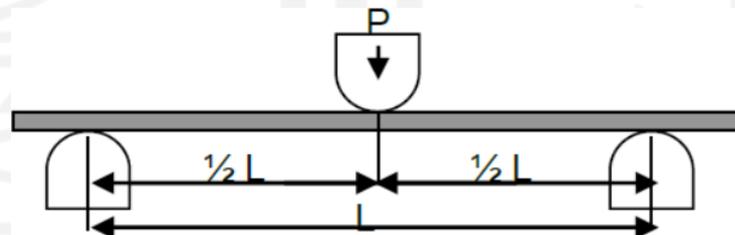
2.6.5 Pengujian Lengkung

Uji lengkung (*Bending Test*) merupakan pengujian terhadap suatu material yang diberi dua titik tumpuan dan diberi beban tekan dari titik tengah bahan tersebut seperti pada gambar 2.5. Dari pengujian akan didapat kekuatan material terhadap beban lengkung yang diberikan. Perhitungan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan:

- σ_f : 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)



Gambar 2.5 Metode *Three-Point Bending*

Sumber : (Syahrani, 2013)

2.6.6 Pengujian Kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan *Vickers* dilakukan dengan cara pengindentasian sejumlah beban pada permukaan spesimen dengan penetrator berbentuk prisma segi-empat dengan besar sudut yang berhadapan 136⁰. Nilai kekerasan dari spesimen akan ditentukan melalui investigasi indentasi akibat reaksi dari

pembebanan tekan (Budiyanto dan Handono, 2020). Persamaan untuk uji kekerasan *Vickers* sebagai berikut:

$$VHN = \frac{2P \sin(\theta / 2)}{d^2} = \frac{(1.854)P}{d^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan:

P : Beban yang digunakan (kg)

d : Panjang diagonal rata-rata (mm)

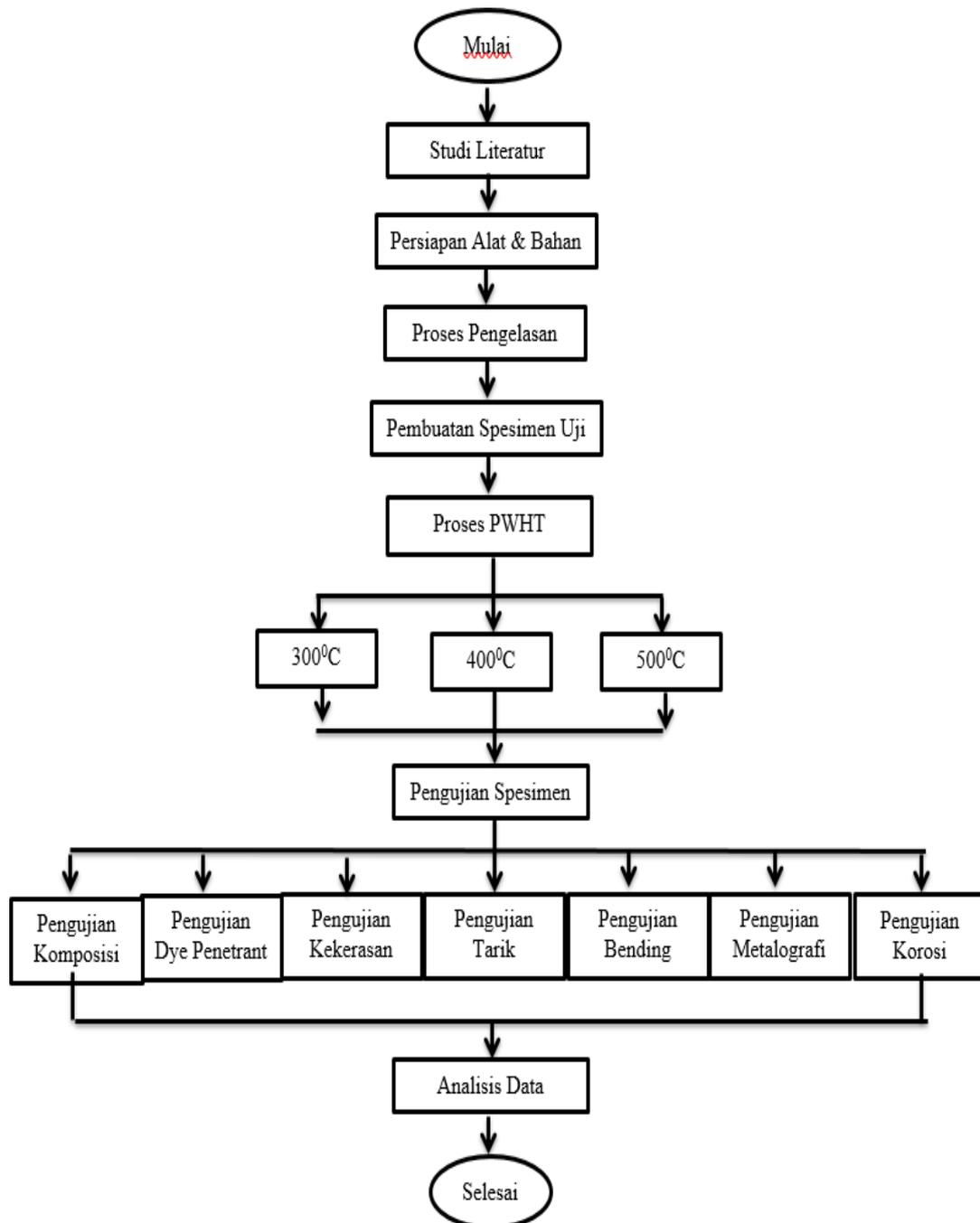
θ : Sudut pada permukaan intan yang berhadapan = 136^0



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



3.2 Peralatan dan Bahan

Berikut tabel alat dan bahan yang digunakan pada penelitian yaitu:

Tabel 3.1 Nama Alat

No.	Alat	Fungsi
1.	Gerinda	Memotong material
2.	Mesin Bubut	Melakukan <i>facing</i> , penyambungan material dengan metode RFW, dan persiapan untuk pengujian material.
3.	<i>Thermogun</i>	Mengukur suhu saat proses pengelasan
4.	<i>Tachometer</i>	Mengukur kecepatan <i>spindle</i>
5.	Jangka Sorong	Pengukuran dimensi spesimen
6.	<i>Furnace</i>	Melakukan PWHT
7.	Mesin <i>Gripo 2M</i>	Menghaluskan permukaan spesimen untuk uji struktur mikro
8.	Mikroskop SEM	Mengamati struktur mikro
9.	Mesin UTM Hidrolik	Pengujian tarik dan <i>bending</i>
10.	Laptop	Pengolahan data

Tabel 3.2 Bahan

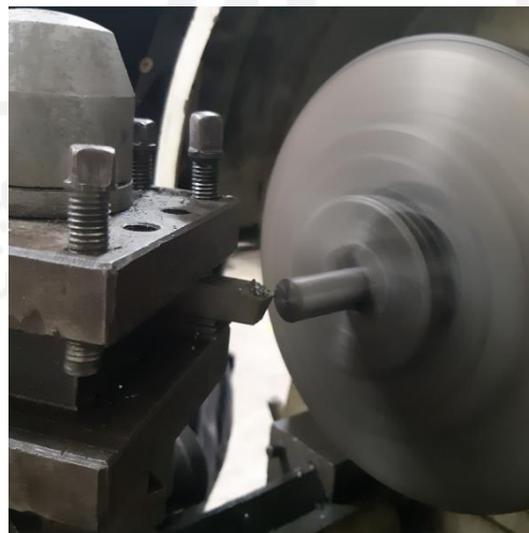
No.	Bahan
1.	Baja AISI 1006
2.	Resin
3.	Air Laut
4.	Autosol
5.	<i>Penetrant</i>
6.	<i>Cleaner</i>
7.	<i>Developer</i>
8.	Cairan etsa HNO ₃ 2,5%
9.	Kawat besi

3.3 Proses Persiapan Spesimen

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah besi pejal dengan diameter 16 mm dan panjang 100 mm. Material dipotong menggunakan mesin gerinda seperti gambar 3.1. Setelah itu material akan di *facing* menggunakan mesin bubut seperti gambar 3.2 agar gesekan antar permukaan logam merata pada saat proses pengelasan.



Gambar 3.1 Pemotongan material



Gambar 3.2 Proses *facing*

3.4 Proses Pengelasan

Proses pengelasan dilakukan dengan metode *Rotary Friction Welding* menggunakan mesin bubut laboratorium proses produksi Universitas Islam Indonesia. Terdapat beberapa parameter dalam pengelasan ini seperti *rotation speed* (kecepatan putar), *friction time* (waktu gesek), *forging distance* (jarak tempa). Kecepatan *spindle* yang digunakan 1170 rpm dengan waktu gesek 5 menit dan jarak tempa 3 mm + 2 mm. Dikarenakan proses pengelasan menggunakan mesin bubut, maka setelah proses pengelasan akan dicek kembali apakah sambungan las *center* atau tidak. Apabila sambungan tidak *center* maka proses pengelasan akan diulang kembali. *Thermogun* digunakan untuk mengukur suhu pada saat proses pengelasan.



Gambar 3.3 Proses Pengelasan

3.5 Proses Persiapan Pengujian

Setelah proses pengelasan spesimen akan disiapkan untuk pengujian. *Flash* yang terbentuk akibat proses pengelasan akan dibersihkan dan diuji penetrasi terlebih dahulu sebelum dibentuk sesuai dengan standar pengujian. Mesin bubut akan digunakan untuk persiapan spesimen untuk uji tarik dan uji *bending* seperti gambar 3.4 dan 3.5. Untuk pengujian struktur mikro, kekerasan, dan komposisi

akan digunakan gerinda untuk membelah atau memotong spesimen seperti gambar 3.6. Pemberian resin akan dilakukan setelah proses PWHT.



Gambar 3.4 Proses Pembersihan *Flash*



Gambar 3.5 Proses Pembuatan Spesimen Uji Tarik



Gambar 3.6 Pembuatan Spesimen Uji Kekerasan, Komposisi, dan Mikrostruktur.

3.6 Proses Post-Weld Heat Treatment

Post-Weld Heat Treatment dilakukan menggunakan *furnace* yang berada pada laboratorium proses produksi Universitas Islam Indonesia. PWHT dilakukan dengan variasi temperatur 300°C , 400°C , dan 500°C selama 1 jam 30 menit lalu didinginkan di suhu ruangan. Sebelum masuk *furnace* spesimen akan dililit menggunakan kawat baja agar memudahkan pada saat dikeluarkan ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Proses PWHT

3.7 Proses Pengujian

3.7.1 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi dilakukan di CV. Karya Hidup Sentosa menggunakan mesin *Spectro meter* model 3560 ARL seperti gambar 3.8. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur yang terdapat pada material yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3.8 Pengujian Komposisi

Sumber : (CV. Karya Hidup Sentosa)

3.7.2 Pengujian Cairan *Penetrant*

Pengujian cairan *penetrant* dilakukan setelah *flash* dibersihkan. Tujuannya adalah agar mempermudah mengidentifikasi cacat pada sambungan las. Pertama, *cleaner* akan disemprotkan terlebih dahulu untuk membersihkan kotoran yang menempel pada permukaan spesimen. Setelah itu cairan *penetrant* akan disemprotkan pada sambungan las dan didiamkan sekitar 10 menit agar cairan *penetrant* dapat melakukan penetrasi pada sambungan las ditunjukkan pada gambar 3.9. *Cleaner* akan disemprotkan lagi untuk membersihkan sisa cairan *penetrant* pada permukaan sambungan. Dan terakhir *developer* akan disemprotkan pada sambungan agar dapat mengangkat cairan *penetrant* serta menunjukkan apakah terdapat cacat pada sambungan las atau tidak.



Gambar 3.9 Pengujian *Penetrant*

3.7.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada (UGM) menggunakan mesin UTM hidrolis dapat dilihat di gambar 3.11. Standar yang digunakan pada pengujian ini yaitu JIZ 2201 dan spesimen uji dapat dilihat pada gambar 3.10. Pada pengujian ini spesimen akan diberi beban aksial secara kontinyu sampai putus dan akan didapat tegangan maksimal pada spesimen uji. Perpanjangan akan diukur setelah material putus, grafik tegangan regangan juga akan dibuat seiring pengujian berjalan.



Gambar 3.10 Spesimen Uji Tarik

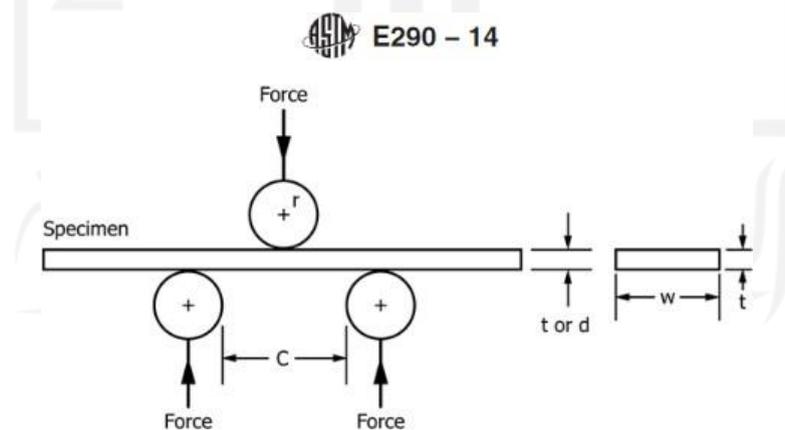


Gambar 3.11 Mesin UTM hidrolik

Sumber : (Lab. Bahan Teknik UGM)

3.7.4 Pengujian *Bending*

Pengujian *Bending* dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik UGM menggunakan mesin UTM hidrolik. Pengujian *bending* dilakukan menggunakan metode *three-point bending*, metode ini menggunakan 2 titik tumpuan dan 1 titik penekanan. Jarak antar titik tumpuan ditentukan dengan standar ASTM E290 seperti gambar 3.12.



Gambar 3.12 Standar Uji *Bending* ASTM E290

$$C = 2r + 3t \pm \frac{t}{2} \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

$$C = 2 \times 10 + 3 \times 16 \pm \frac{16}{2}$$

$$C = 68 \pm 8$$

$$C = 76 \text{ mm}/60\text{mm}$$

Dari hasil perhitungan yang sudah dilakukan (3.1), jarak antar titik yang digunakan pada pengujian ini yaitu 76 mm dengan diameter pembebanan 20 mm.

3.7.5 Pengujian Kekerasan

Setelah spesimen dibagi 2 dan melalui proses PWHT seperti pada gambar 3.6 dan 3.7, proses selanjutnya adalah mencetak spesimen menggunakan resin agar tetap stabil saat pembebanan dan lebih mudah untuk dicengkram. Sebelum pengujian spesimen akan dihaluskan menggunakan mesin Gripo 2M seperti gambar 3.13 dengan urutan amplas 100, 280, 400, 600, dan 1000.

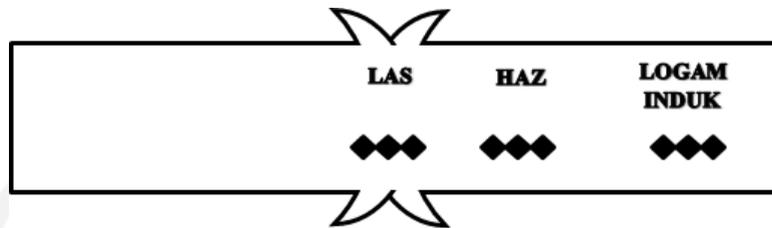


Gambar 3.13 Proses Pengamplasan

Sumber : (Lab Bahan Teknik UGM)

Pengujian kekerasan *Vickers* ini menggunakan mikroskop MHV V3 Japan terhadap 3 titik yaitu, daerah sambungan las, *Heat Affected Zone (HAZ)*, dan logam induk. Setiap titik diuji sebanyak 3 kali seperti gambar 3.14 dengan selisih jarak

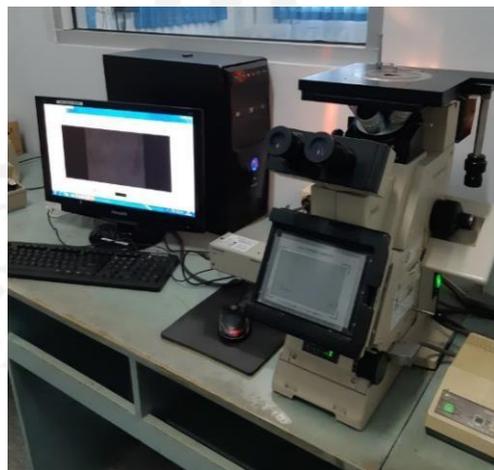
0,01 dan pembebanan sebesar 200 kgf. Untuk mengetahui kekerasan spesimen terdapat pada persamaan 2.5. Masing-masing variasi hanya menggunakan 1 spesimen untuk pengujian kekerasan.



Gambar 3.14 Titik Pembebanan Pengujian Kekerasan

3.7.6 Pengujian Struktur Mikro dan Makro

Spesimen uji untuk pengujian struktur mikro dan makro mendapat perlakuan yang sama dengan spesimen uji kekerasan seperti pada gambar 3.13, setelah itu spesimen akan melalui proses pengetsaan menggunakan HNO_3 2,5% yang digunakan khusus untuk material baja. Setelah melalui proses ini spesimen siap diuji menggunakan mikroskop optik seperti pada gambar 3.14 dengan perbesaran 200x untuk pengujian mikro dan 20x untuk pengujian makro.



Gambar 3.15 Mikroskop Optik

Sumber : (Lab. Bahan Teknik UGM)

3.7.7 Pengujian Korosi

Pengujian korosi dilakukan untuk mengetahui ketahanan material ketika mengalami kontak dengan lingkungan sekitarnya. Pada pengujian ini spesimen uji akan diberi kontak dengan air laut. Masing-masing variasi perlakuan panas dan logam induk akan diuji selama kurang lebih 50 hari dan akan ditimbang setiap hari ke-10. Air laut yang digunakan pada pengujian ini diambil dari Pantai Wediombo, Gunung Kidul, Yogyakarta.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan beberapa jenis penelitian dan pengujian untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari spesimen uji, maka didapatkan hasil data yang disertai dengan analisa dari penelitian dan pengujian yang sudah dilakukan.

4.1 Hasil Pengelasan

Pada penelitian ini metode las yang digunakan yaitu RFW menggunakan material baja AISI 1006 dengan parameter kecepatan *spindle* 1170 rpm, waktu gesek 5 menit, dan jarak tempa 3 mm saat durasi gesek lalu 2 mm saat *spindle* sudah dihentikan. Hasil lasan dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Pengelasan

Pengukuran kecepatan aktual rotasi *spindle* dilakukan menggunakan *tachometer* dengan hasil kecepatan sebesar 1176 rpm. Untuk mengetahui durasi gesek yang sudah dilakukan dan suhu pada saat proses pengelasan maka digunakan *stopwatch* dan *thermogun*. Suhu yang dihasilkan pada saat proses pengelasan dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Suhu Proses Pengelasan

No.	Suhu (⁰ C)	No.	Suhu (⁰ C)
1	1110	16	1110
2	1071	17	1158
3	1147	18	1085
4	975	19	1070
5	1067	20	1126
6	982	21	975
7	1051	22	1118
8	1180	23	1123
9	1130	24	1115
10	1101	25	1093
11	1064	26	1188
12	1120	27	1112
13	1130	28	1083
14	1217	29	1105
15	1093	30	1187
Rata-rata		1102	

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa pengelasan yang dilakukan masih termasuk dalam pengelasan *solid state* karena suhu pengelasan sekitar 60-80% dari titik leleh material. Material baja mempunyai titik leleh sekitar $\pm 1300-1500^{\circ}\text{C}$.

Terdapat satu kendala pada saat proses pengelasan, yaitu *arbor* yang patah. Hal ini dapat terjadi karena *arbor* tidak kuat menahan getaran yang dihasilkan dari permukaan baja yang bergerak diberi beban oleh baja yang stasioner.



Gambar 4.2 Arbor Yang Mengalami Patah

4.2 Hasil Uji Komposisi

Pengujian komposisi dilakukan di awal penelitian. Hal ini bertujuan agar dapat diketahui kandungan serta jenis baja yang digunakan. Hasil uji komposisi dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Komposisi

Unsur	(%)
C	0,0740
Si	0,1571
S	0,0094
P	0,0180
Mn	0,4507
Ni	0,0106
Cr	0,0224
Mo	0,0023
Cu	0,0118
W	0,0000
Ti	0,0005
Sn	0,0005
Al	0,0027
Pb	0,0000
Ca	0,0009
Zn	0,0000
Fe	99,24

Berdasarkan hasil dari uji komposisi, jenis baja yang digunakan yaitu AISI 1006 dan dikategorikan sebagai baja karbon rendah karena memiliki kandungan karbon 0,0740%.

4.3 Pengujian *Dye Penetrant*

Pengujian *Dye Penetrant* dilakukan untuk mengetahui adanya cacat pada sambungan las. Pengujian ini dilakukan setelah *flash* dibersihkan dan dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil Pengujian *Dye Penetrant*

Dari hasil pengujian *Dye Penetrant* yang sudah dilakukan, dari total 30 spesimen terdapat 4 hasil lasan yang mengalami cacat pada sambungan las. Hal ini disebabkan adanya porositas pada sambungan las. Porositas adalah adanya ruang kosong yang terdapat pada material dan dapat terjadi karena permukaan las yang kurang rata setelah proses *facing* dan juga getaran pada saat proses pengelasan sehingga hasil lasan kurang *center*.

4.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik ini dilakukan dengan UTM Hidrolik seperti gambar 3.11. Standar yang digunakan yaitu JIZ 2201 dan ASTM E8 dapat dilihat pada gambar 4.4 dan 4.5. Hasil yang didapatkan adalah nilai P_{max} (Nilai tegangan saat spesimen putus) dan ΔL dari setiap spesimen uji. Grafik tegangan-regangan dan tabel hasil pengujian dapat dilihat di lampiran.

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan tegangan dan regangan dengan variasi PWHT 300⁰C menggunakan persamaan (2.2) dan (2.3).

$$P_{max} = 36,07 \text{ kN} \quad D = 13,81 \text{ mm} \quad \Delta L = 3,01 \text{ mm}$$

Nilai tegangan tarik maksimum

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{36,07 \times 10^3 \text{ N}}{3,14 \times 0,25 \times 13,81^2 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = \frac{36070}{149,71}$$

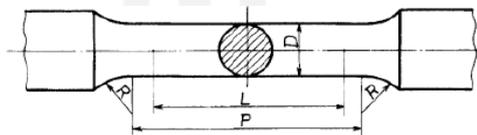
$$\sigma = 240,93 \text{ Mpa}$$

Nilai regangan

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\epsilon = \frac{3,01 \text{ mm}}{45 \text{ mm}} \times 100\%$$

$$\epsilon = 6,69\%$$

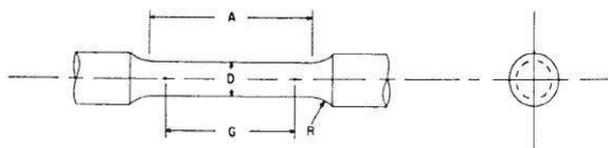


Unit : mm

Diameter <i>D</i>	Gauge length <i>L</i>	Parallel length <i>P</i>	Radius of fillet <i>R</i>
14	50	60 approx.	15 min.

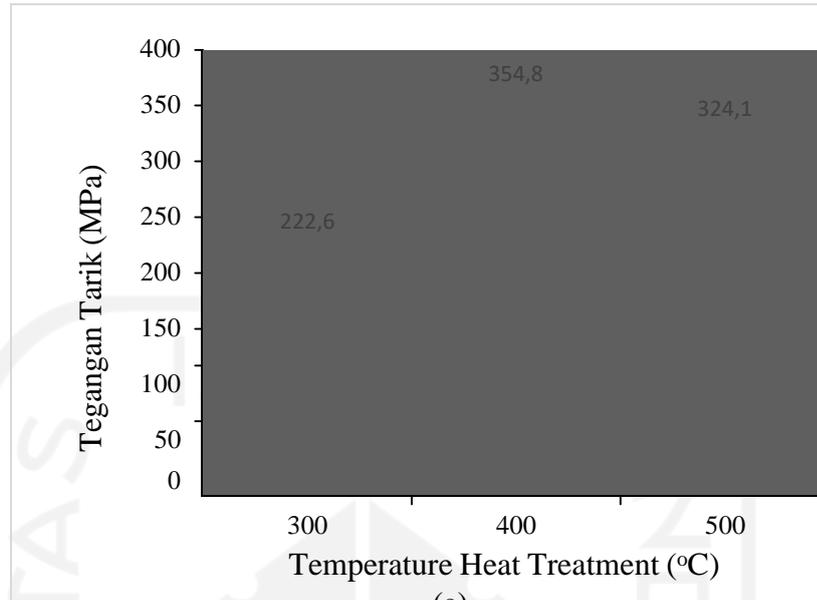
Gambar 4.4 Standar Uji Tarik JIZ 2201

E 8 - 04

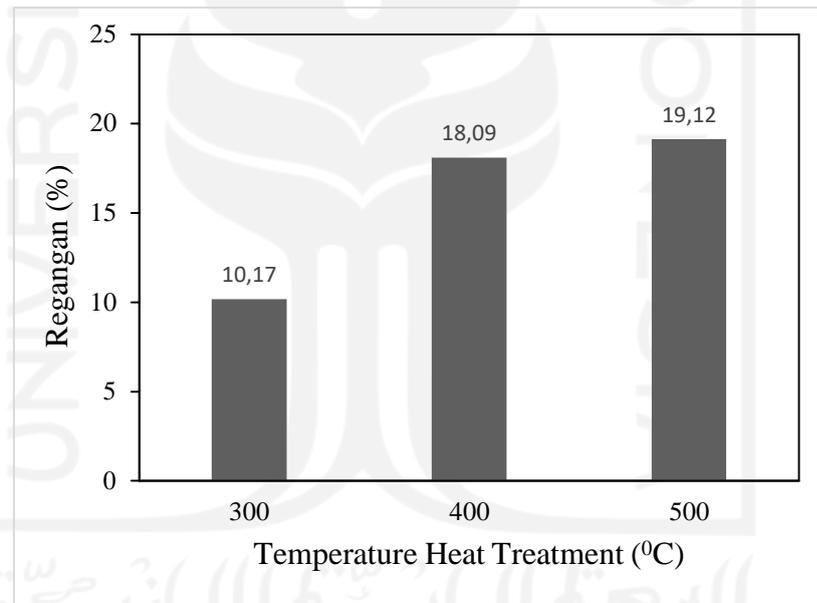


	Dimensions				
	Standard Specimen		Small-Size Specimens Proportional to Standard		
	in.	in.	in.	in.	in.
Nominal Diameter	0.500	0.350	0.250	0.160	0.113
G—Gage length	2.000 ± 0.005	1.400 ± 0.005	1.000 ± 0.005	0.640 ± 0.005	0.450 ± 0.005
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.350 ± 0.007	0.250 ± 0.005	0.160 ± 0.003	0.113 ± 0.002
R—Radius of fillet, min	3/8	1/4	3/16	5/32	3/32
A—Length of reduced section, min (Note 2)	2 1/4	1 3/4	1 1/4	3/4	5/8

Gambar 4.5 Standar Uji Tarik ASTM E8



(a)



(b)

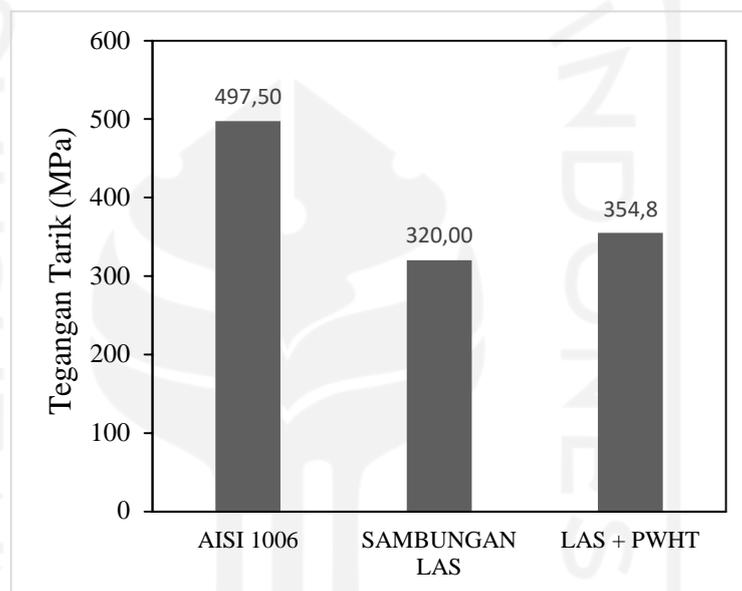
Gambar 4.6 Hasil Pengujian Uji Tarik

(a) Grafik Tegangan Tarik, (b) Grafik Regangan

Dari hasil perbandingan grafik tegangan dapat dilihat bahwa tegangan tarik tertinggi terdapat pada variasi PWHT 400 °C sebesar 354,8 MPa dan terendah dengan variasi PWHT 300 °C sebesar 222,6 MPa. Untuk nilai regangan pada

variasi PWHT 500 °C memiliki nilai tertinggi sebesar 19,12% dan yang terendah pada variasi PWHT 300°C sebesar 10,17%.

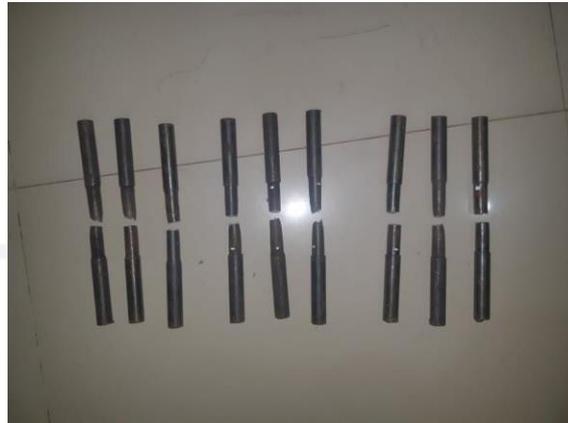
Pada grafik tegangan dilihat bahwa variasi PWHT 400 °C memiliki kekuatan tarik tertinggi sebesar 354,8 MPa. Hal ini disebabkan pada saat proses PWHT dengan temperatur yang semakin mendekati dengan batas A3 maka material akan memiliki nilai kekerasan yang semakin tinggi dan menyebabkan material memiliki sifat getas. Peningkatan nilai kekerasan akan dimulai pada jarak temperatur 450 °C – 600 °C (Croft, 1996).



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Hasil Uji Tarik

Pada gambar 4.7 terdapat grafik perbandingan hasil uji tarik dari baja AISI 1006, baja AISI 1006 yang dilas, dan baja AISI 1006 yang dilas lalu diberi perlakuan panas. Dari grafik tersebut terlihat baja AISI 1006 memiliki kekuatan tarik tertinggi dengan rata-rata sebesar 497,5 MPa, dan yang terendah yaitu baja AISI 1006 yang dilas tanpa perlakuan panas dengan kekuatan tarik sebesar 320 MPa.

Pada gambar 4.8 dapat dilihat hasil dari pengujian tarik dari masing-masing variasi PWHT. 7 dari 9 spesimen yang sudah diuji menunjukkan hasil patahan yang ulet. Hal ini juga dapat terlihat dengan adanya deformasi plastis pada daerah patahan.



Gambar 4.8 Hasil Patahan Pengujian Tarik

4.5 Pengujian Bending

Pengujian tarik ini dilakukan dengan UTM Hidrolik. Dalam pengujian *bending* benda uji akan ditekan secara kontinu hingga mencapai nilai P_{max} . Hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran. Setelah didapatkan nilai P_{max} dilanjutkan dengan perhitungan tegangan *bending* dari benda uji menggunakan persamaan (2.4).

Berikut contoh perhitungan dengan variasi temperatur PWHT 300⁰C:

$$P_{max} = 16,15 \text{ kN} \quad D = 16,65 \text{ mm} \quad L \text{ (jarak titik penumpu)} = 60 \text{ mm}$$

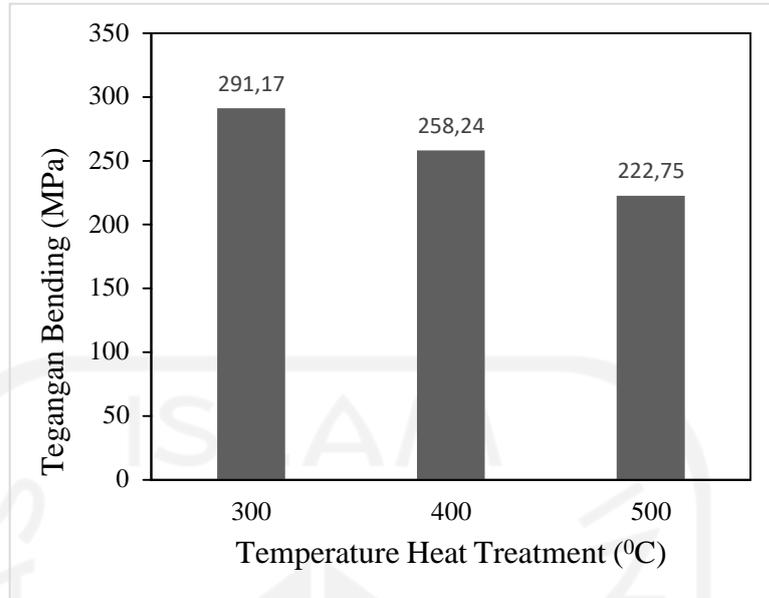
$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2}$$

$$\sigma = \frac{3 \times 16,15 \times 10^3 \text{ N} \times 60 \text{ mm}}{2 \times 16,65 \text{ mm} \times 16,65^2 \text{ mm}}$$

$$\sigma = \frac{2907}{9.231 \times 10^{-6}}$$

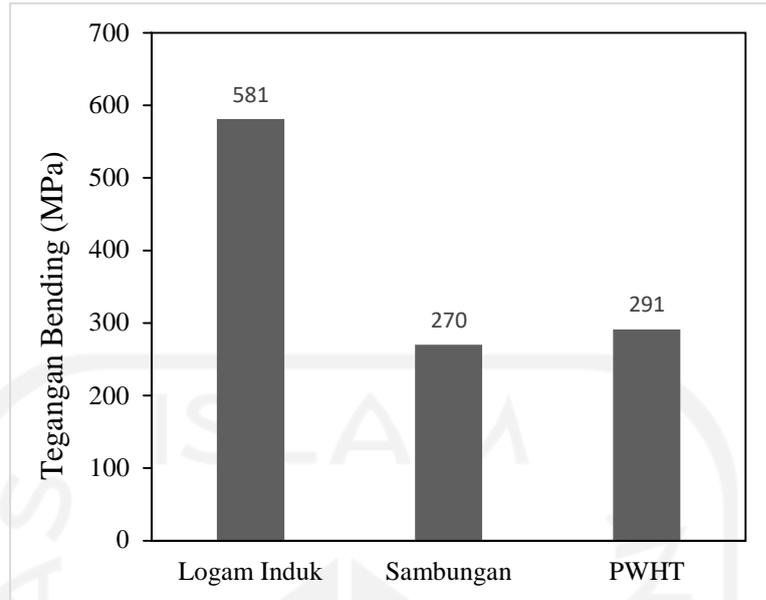
$$\sigma = 314,90 \text{ Mpa}$$

Dari hasil perhitungan tersebut didapat grafik perbandingan setiap variasi yang dibuat. Grafik perbandingan tegangan *bending* bisa dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Uji *Bending*

Dari grafik pengujian uji *bending* didapati bahwa variasi temperatur PWHT 300⁰C memiliki tegangan bending tertinggi sebesar 291,17 MPa dan tegangan bending terendah terdapat pada variasi temperatur PWHT 500⁰C sebesar 222,75 MPa. Hal ini disebabkan karena nilai kekerasan yang bertambah seiring peningkatan temperatur PWHT yang dapat menyebabkan logam menjadi keras dan getas. Faktor lain yang dapat menyebabkan hal ini terjadi yaitu hasil sambungan las yang tidak *center* sehingga pada saat penekanan gaya yang diterima oleh sambungan las tidak merata.



Gambar 4.10 Perbandingan Kekuatan Uji Bending

Pada gambar 4.10 terdapat perbandingan kekuatan uji *bending* antara logam induk, sambungan las, dan sambungan las yang diberi perlakuan panas. Terlihat pada grafik tersebut logam induk memiliki kekuatan bending tertinggi sebesar 581 MPa. Kekuatan tertinggi kedua setelah logam induk yaitu sambungan las yang diberi perlakuan panas sebesar 291 MPa dan yang terendah sambungan las tanpa PWHT sebesar 270 Mpa. Dan berikut adalah hasil bentuk lengkungan spesimen saat dilakukan pengujian *bending* pada gambar 4.11.

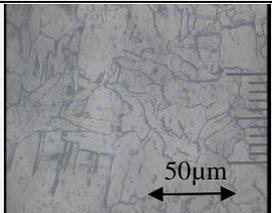
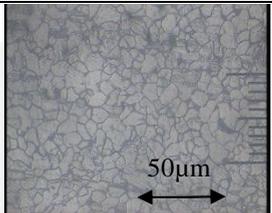
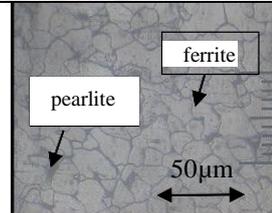
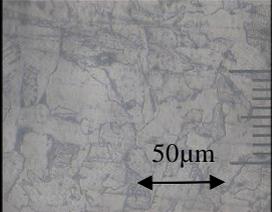
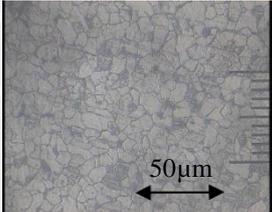
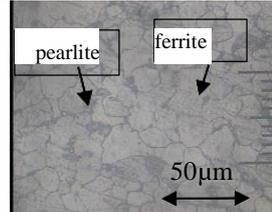
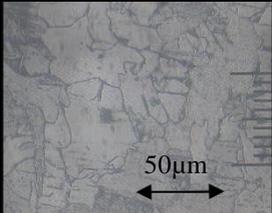
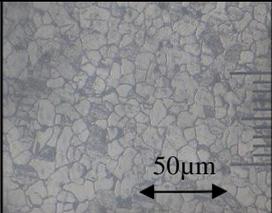
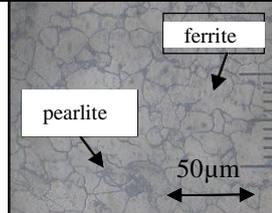
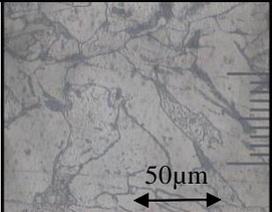
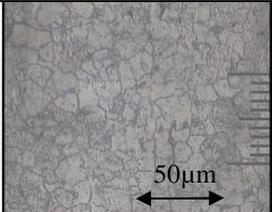
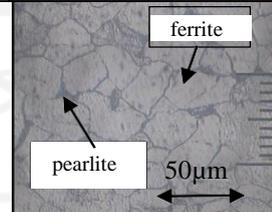


Gambar 4.11 Lengkungan Spesimen Pengujian *Bending*

4.6 Pengamatan Struktur Mikro dan Makro

Pada pengamatan struktur mikro ini dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200x. Daerah yang diamati pada pengujian ini yaitu daerah las, HAZ, dan logam induk. Masing-masing variasi PWHT akan diambil 1 sampel untuk diamati. Data dari hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada tabel 4.3.

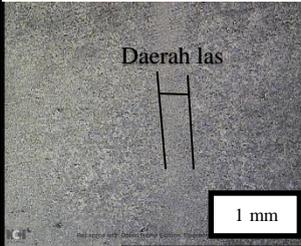
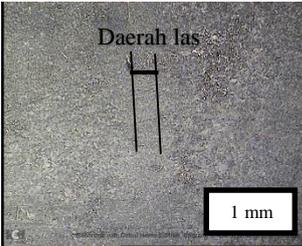
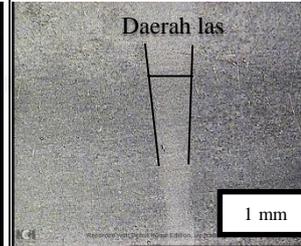
Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Variasi suhu PWHT	Las	HAZ	Logam Induk
300 °C			
400 °C			
500 °C			
Tanpa PWHT			

Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat dari tabel 4.3. Dari hasil pengamatan struktur mikro didapati bahwa struktur yang terbentuk *ferrite* dan *pearlite*. Pada daerah HAZ untuk semua variasi mengalami penghalusan butir, hal ini dapat terjadi karena pada saat proses pengelasan, daerah HAZ tidak mengalami

deformasi sehingga suhu tinggi serta pendinginan yang lambat merubah struktur logam pada daerah HAZ.

Tabel 4.4 Hasil Pengamatan Struktur Makro

Suhu PWHT	300°C	400°C	500°C
LAS			

Pada tabel 4.4 terdapat hasil penelitian struktur makro. Karena metode las yang digunakan tidak menggunakan *filler* dan material yang di las *similar* maka sambungan las menjadi samar dan kurang terlihat. Faktor lain seperti pembersihan dan kerataan permukaan pada saat proses pengamplasan juga dapat berpengaruh pada hasil pengamatan struktur makro.

4.7 Pengujian Kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan *vickers* ini dilakukan menggunakan mesin MHV M3 Japan yang dilakukan pembebanan pada 3 titik yaitu daerah las, HAZ dan logam induk. Pembebanan yang diberikan pada pengujian ini sebesar 200 kgf dengan jarak penekanan tiap titik 0,1 mm. Hasil pengujian kekerasan *vickers* dapat dilihat pada halaman lampiran. Berikut nilai kekerasan pada spesimen menggunakan persamaan (2.5) sebagai contoh pada daerah las variasi PWHT 300 °C:

Titik 1 :

$$\frac{(1.854 \times 200)}{52^2} = 137,13 \text{ VHN}$$

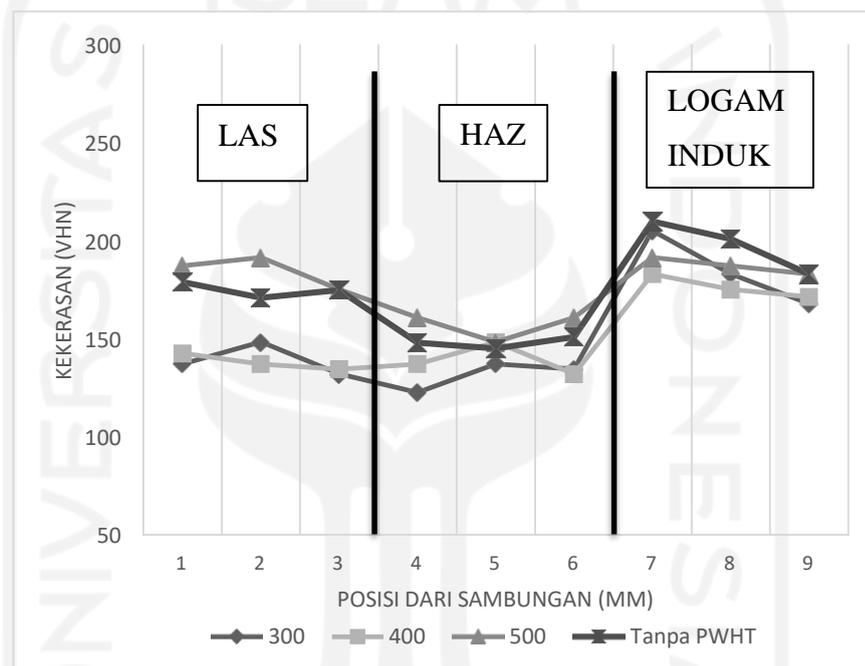
Titik 2 :

$$\frac{(1.854 \times 200)}{50^2} = 148,32 \text{ VHN}$$

Titik 3 :

$$\frac{(1.854 \times 200)}{53^2} = 132 \text{ VHN}$$

Setelah dilakukan perhitungan untuk setiap variasi, maka dapat dibuat grafik dari setiap variasi. Grafik variasi nilai kekerasan dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik Pengujian Kekerasan Vickers

Dari grafik yang sudah dibuat, pada daerah sambungan las dengan variasi PWHT 500 °C memiliki nilai kekerasan tertinggi dengan rata-rata 184,67 VHN dan variasi PWHT 400 °C memiliki kekerasan terendah dengan rata-rata 138,73. Faktor lain seperti penyambungan logam yang menggunakan mesin bubut sehingga kenaikan temperatur logam tiap proses pengelasan berbeda-beda karena masih bergantung pada juru las.

4.8 Pengujian Laju Korosi

Pengujian korosi dilakukan untuk mengetahui laju korosi dari material yang digunakan. Pengujian korosi dilakukan dengan cara material akan didiamkan di air laut yang berada didalam wadah dan akan ditimbang beratnya setelah 10 hari selama total 50 hari. Dari hasil pengujian yang sudah dilakukan didapati bahwa setiap variasi mengalami penurunan berat dan dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Korosi

Variasi	Berat Awal	I	II	III	IV	V
PWHT 300 ⁰ C	41,53	41,53	41,52	41,51	41,49	41,47
PWHT 400 ⁰ C	38,55	38,53	38,49	38,48	38,45	38,43
PWHT 500 ⁰ C	39,70	39,69	39,69	39,68	39,67	39,65
Tanpa PWHT	28,12	28,08	28,03	27,97	27,93	27,89
Logam Induk	27,28	27,23	27,20	27,14	27,07	27,01

Berdasarkan tabel 4.3, variasi PWHT 500 ⁰C memiliki nilai penurunan berat yang paling sedikit. Dari data yang sudah didapat maka bisa dilakukan perhitungan laju korosi menggunakan persamaan (2.1). Berikut contoh perhitungan laju korosi menggunakan variasi PWHT 300⁰C pada hari ke-50.

$$W = 0,02 \text{ g} \quad D = 7,85 \text{ g/cm}^3 \quad T = 24 \times 10 = 240 \text{ jam}$$

Nilai laju korosi

$$Corossion \ Rate = \frac{K \times W}{D \times t \times A} = \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,02}{7,85 \times 240 \times 34,16} = 0.0272 \text{ mmpy}$$

Berikut hasil perhitungan laju korosi yang dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Laju Korosi

Variasi	Laju Korosi Setiap 10 Hari				
	I	II	III	IV	V
PWHT 300°C	0	0,0136	0,0136	0,0272	0,0272
PWHT 400°C	0,0272	0,0544	0,0136	0,0408	0,0272
PWHT 500°C	0,0136	0	0,0136	0,0136	0,0272
Tanpa PWHT	0,0544	0,0680	0,0816	0,0544	0,0544
Logam Induk	0,0680	0,0408	0,0816	0,0952	0,0816

Setelah dilakukan perhitungan laju korosi untuk setiap variasi dan logam induk, akan dilakukan perbandingan dengan standar laju korosi untuk mengetahui kualitas dari logam yang digunakan. Material yang memiliki nilai laju korosi lebih kecil dari 50 *mmpy* dianggap memiliki ketahanan terhadap korosi. Standar kualitas laju korosi dapat dilihat di tabel 4.7.

Tabel 4.7 Standar Laju Korosi (Fontana, 1986)

Laju Korosi	Standar (<i>mmpy</i>)	Variasi Hasil Spesimen					Keterangan
		PWHT 300°C	PWHT 400°C	PWHT 500°C	Tanpa PWHT	Logam Induk	
Outstanding	<0,02						
Excellent	0,02-0,1	0-0,0272	0,0136-0,0544	0-0,0272	0,0544-0,0816	0,0408-0,0952	Excellent
Good	0,1-0,5						
Fair	0,5-1						
Poor	1-5						
Unacceptable	>5						

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang sudah dilakukan, maka didapat kesimpulan dari hasil penelitian sebagai berikut:

1. Proses PWHT berpengaruh pada hasil pengujian sambungan las baja AISI 1006 dengan metode RFW.
2. Kekuatan tertinggi dari pengujian tarik terdapat pada logam induk sebesar 497,5 MPa. Hasil pengujian dari masing-masing variasi PWHT yang digunakan, variasi temperatur 400 °C memiliki nilai tertinggi dengan kekuatan tegangan sebesar 354,8 Mpa, dan regangan sebesar 18,09 %. Variasi PWHT mengalami penurunan sebesar 28% dari hasil pengujian logam induk.
3. Hasil pengujian *bending* menunjukkan logam induk memiliki kekuatan bending tertinggi sebesar 581 MPa. Dari masing-masing variasi yang digunakan, variasi PWHT 300 °C memiliki nilai tertinggi dengan kekuatan tegangan sebesar 291,17 Mpa dan mengalami penurunan 50% dari hasil pengujian logam induk.
4. Hasil pengujian kekerasan dengan variasi PWHT 500°C memiliki nilai kekerasan pada sambungan las tertinggi dengan rata-rata nilai kekerasan 185 VHN.
5. Hasil pengamatan struktur mikro dari masing-masing variasi PWHT mengalami penghalusan butir di daerah HAZ, struktur *pearlite* pada daerah las di variasi PWHT 500 °C lebih rapat daripada variasi PWHT 300 °C, dan 400 °C yang menyebabkan nilai kekerasan pada variasi 500 °C meningkat.
6. Hasil pengamatan struktur makro pada daerah las di masing masing variasi tidak terdapat kecacatan las. Garis sambungan terlihat samar karena proses pengelasan tidak menggunakan *filler* dan material yang digunakan *similar*.

7. Hasil pengujian korosi dari logam induk dan masing-masing variasi yang digunakan menunjukkan bahwa keduanya memiliki ketahanan korosi yang sangat baik.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

1. Penggunaan mesin las RFW sehingga hasil lasan konsisten.



DAFTAR PUSTAKA

- Amanto. (1999). *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Andi. (n.d.). *Tegangan*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Croft. (1996). *Heat Treatment of welded steel structures*. England: ABINGTON PUBLISHER.
- Don Geary, & Miller, R. (2011). *Welding Second Edition*. America: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Eko Budiyanto, & Handono, S. D. (2020). *Pengujian Material*. Lampung: Laduny.
- Gapsari, F. (2017). *Pengantar Korosi*. Malang: UBMedia.
- Ma, d. (2015). *Effect of post-weld heat treatment on friction welded*. China.
- Moustafa, M. B. (2018). *Effects of Thermal and Mechanical Treatments on the Fatigue Performance of Friction Welded Joints*. Kairo, Egypt: Faculty of Natural and Material Sciences, Clausthal University of Technology.
- PRABUDEV, K. H. (1988). *Handbook of heat treatment of steel*. NEW DELHI: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited,.
- Rajan, T., Sharma, C., & Shamara, A. (2011). *Heat Treatment Principles and Techniques*. New Delhi: PHI LEARNING .
- Rehan, M. A. (2019). *Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of a 5 wt.% Cr cold work tool steel*. Sweden: University West.
- Syahid, N. (2021). *Teknik Pengelasan Gas Tungsten*. Grasindo.
- Thomas G. Digges, S. J. (1966). *Heat Treatment and Properties of Iron and Steel*. Virginia: U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE NATIONAL BUREAU OF STANDARDS.
- Totten, G. E., & Howes, M. A. (1997). *Steel Heat Treatment Handbook*. Chicago, Illinois: Marcel Dekker, Inc.
- Vlack. (1981). *Ilmu dan Teknologi*. Jakarta: Erlangga.
- Weman, K. (2003). *Welding Processes Handbook*. Washington DC: Woodhead Publishing Ltd.
- Yilbas, B. S., & Sahin, A. Z. (2014). *Friction Welding Thermal And Metallurgical Characteristic*. Springer.

LAMPIRAN



CV. KARYA HIDUP SENTOSA

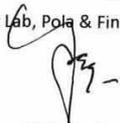
PABRIK MESIN ALAT PERTANIAN • PENGECORAN LOGAM • DEALER UTAMA DIESEL KUBOTA
Kantor Pusat : Jl. Magelang No. 144 Jogjakarta 55241 Indonesia
Telp. : (0274) 512095 (hunting), 563217, 584874, 513025, 556923
Fax. : (0274) 563523 (Umum), 554069 (Pembelian) E-mail : operator1@quick.co.id
Website : www.quick.co.id • M-Web : m.quick.co.id • Facebook : facebook.com/quicktraktor

LAPORAN HASIL ANALISA REPORT OF ANALYSIS

Order No. : 0177789 Tanggal : 07 - 1 - 2021.
Customer : Excel Rifqi Fachreza. Kode Spl : Steel
: Mahasiswa UII. Program : FELOW1.
Analisa : Spectrometer. Alat Uji : Thermo ARL 3560 OES.
Hasil/Result :

Unsur	(%)
C	0,0740
Si	0,1571
S	0,0094
P	0,0180
Mn	0,4507
Ni	0,0106
Cr	0,0224
Mo	0,0023
Cu	0,0118
W	0,0000
Ti	0,0005
Sn	0,0005
Al	0,0027
Pb	0,0000
Ca	0,0009
Zn	0,0000
Fe	99,24

Ass. Ka. Unit Lab, Pola & Finishing UP2L


Abdul Kafi

Ka. Seksi Laboratorium UP2L


Reny Hayu W.

Catatan : - Sampel dari pemesan diuji di Laboratorium kami.

Cabang

Surabaya : Jl. Kebonrojo 6BB Telp. (031)3525687, 3525688, 3525076 Fax. (031)3540454 E-mail : sby@quick.co.id
Jakarta : Jl. Gajah Mada 154 Telp. (021) 6292044, 6293428, 6490020 Fax. (021) 6490013 E-mail : jkt@quick.co.id
Tanjungkarang : Jl. Raden Intan 159 Telp. (0721) 268498, 268495 Fax. (0721) 268498 E-mail : tj@quick.co.id
Makassar : Jl. Kima 4 No. M4 Daya, Kec. Biringkanaya Telp. (0411) 514573, Fax. (0411) 514573 E-mail : mks@quick.co.id
Medan : Jl. Letda Sujono Komplek Pergudangan Tembung Intan No. 13 Medan, Indonesia Telp. (061) 7384680 Fax. (061) 7384680 E-mail : mdn@quick.co.id

Cabang Pembantu

Sidrap : Jl. Poros Parepare-Sidenreng Rappang, Kel. Batu Lappa, Kec. Watang Pulu, Kab. Sidenreng Rappang, SULSEL
Telp. +62-82192906262, +62-88804250543 E-mail : sidrap@quick.co.id



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

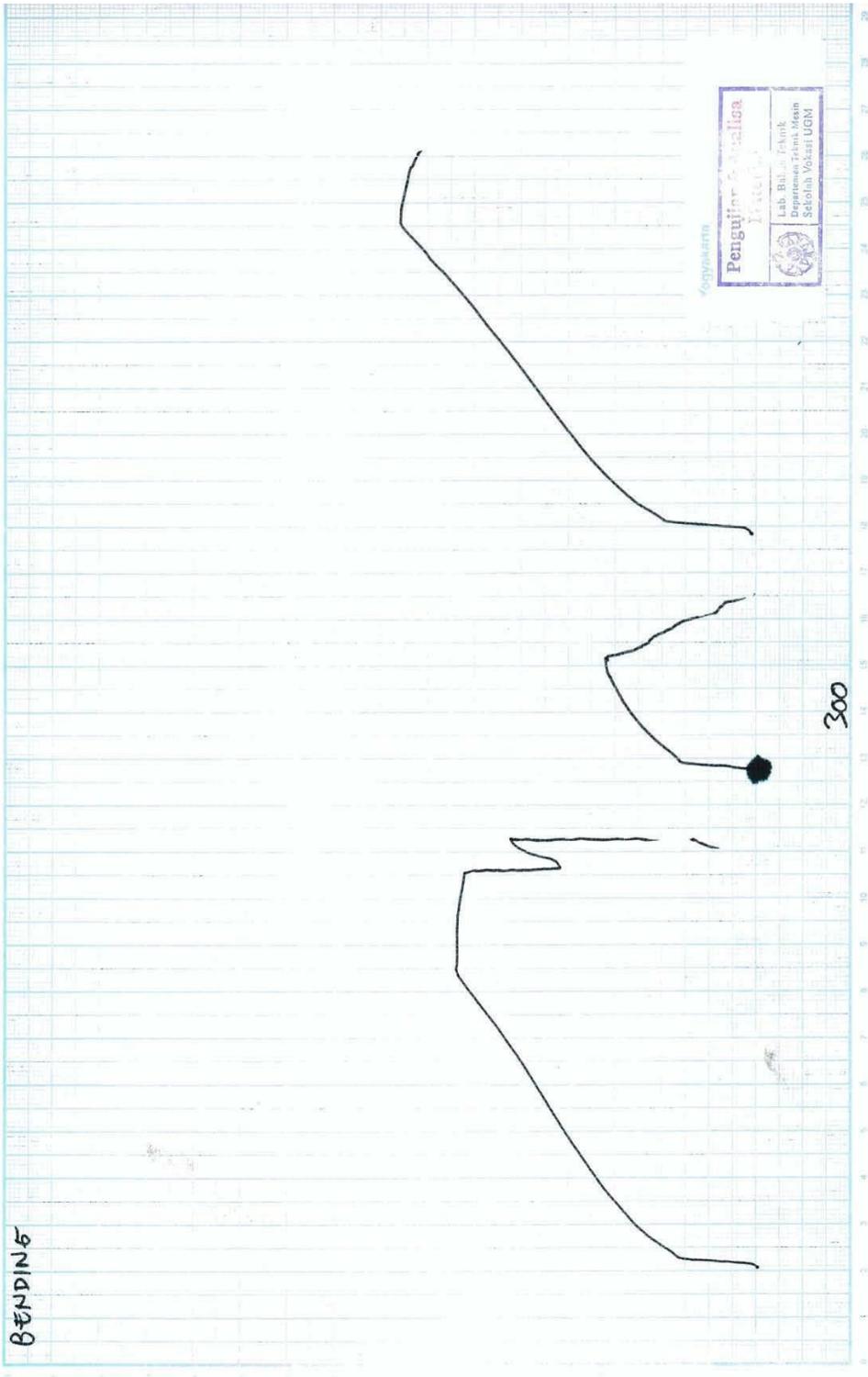
No.	Spesimen	Diameter (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	HT 300_1	16,75	32,32	27,75	618,97
2	HT 300_2	16,65	16,15	12,45	314,90
3	HT 300_3	16,04	38,59	28,22	841,60
4	HT 400_1	16,65	33,72	32,82	657,49
5	HT 400_2	16,81	11,03	10,28	208,98
6	HT 400_3	16,75	7,1	5,71	135,97
7	HT 500_1	16,76	10,15	8,98	194,04
8	HT 500_2	17,14	18,17	20,06	324,76
9	HT 500_3	16,59	21,03	22,20	414,52

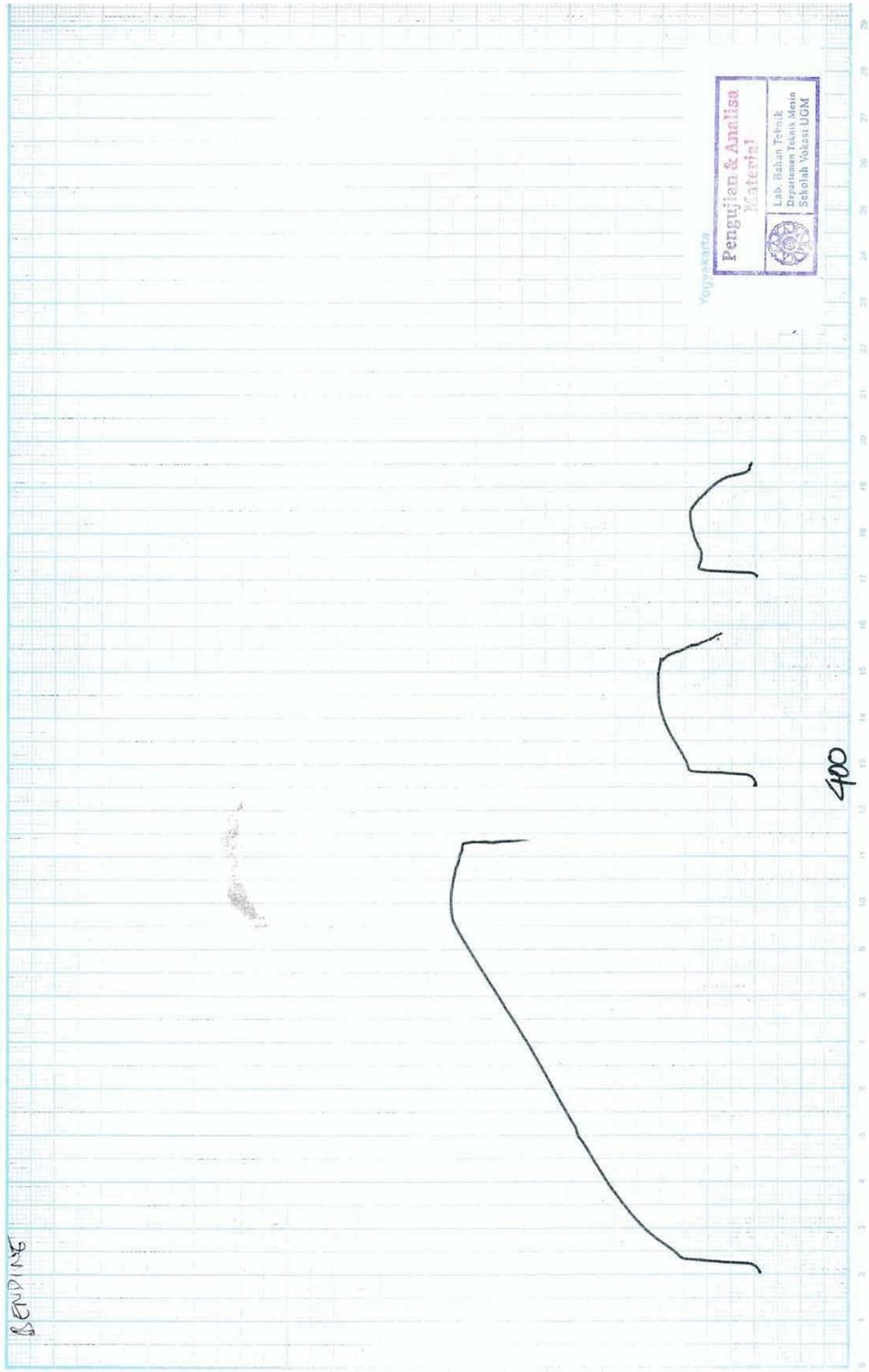
Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

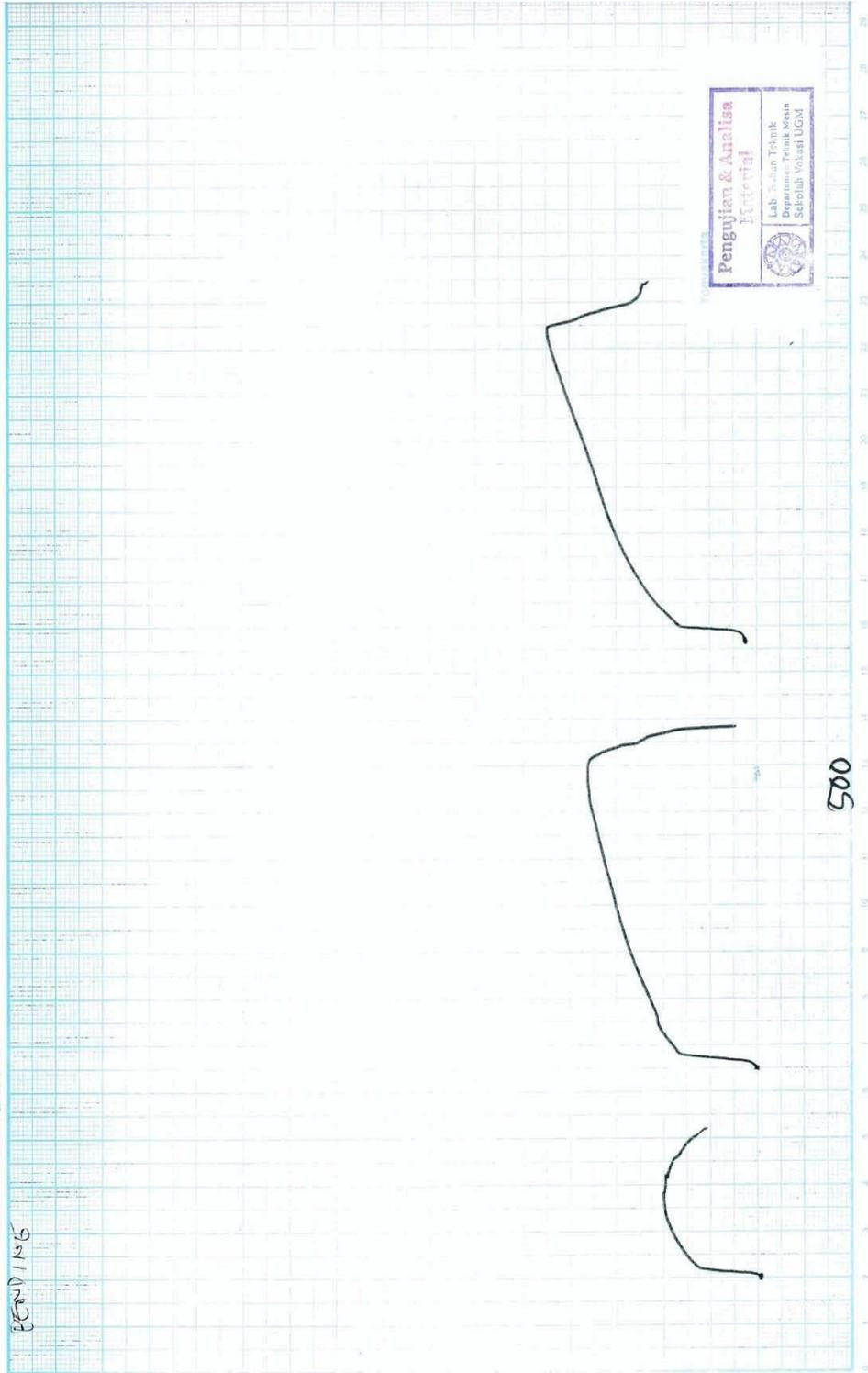
1. Pengujian dilakukan tanggal 13 Maret 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM E 290

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281





PENDING





LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Spesimen	Diameter (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	HT 300 1	16,90	15,70	11,77	292,74
2	HT 300 2	16,57	13,44	15,17	265,87
3	HT 400 1	16,25	14,00	15,54	293,64
4	HT 400 2	16,77	14,26	17,87	272,12
5	HT 500 1	16,92	13,87	14,20	257,70
6	HT 500 2	17,01	11,84	9,81	216,51

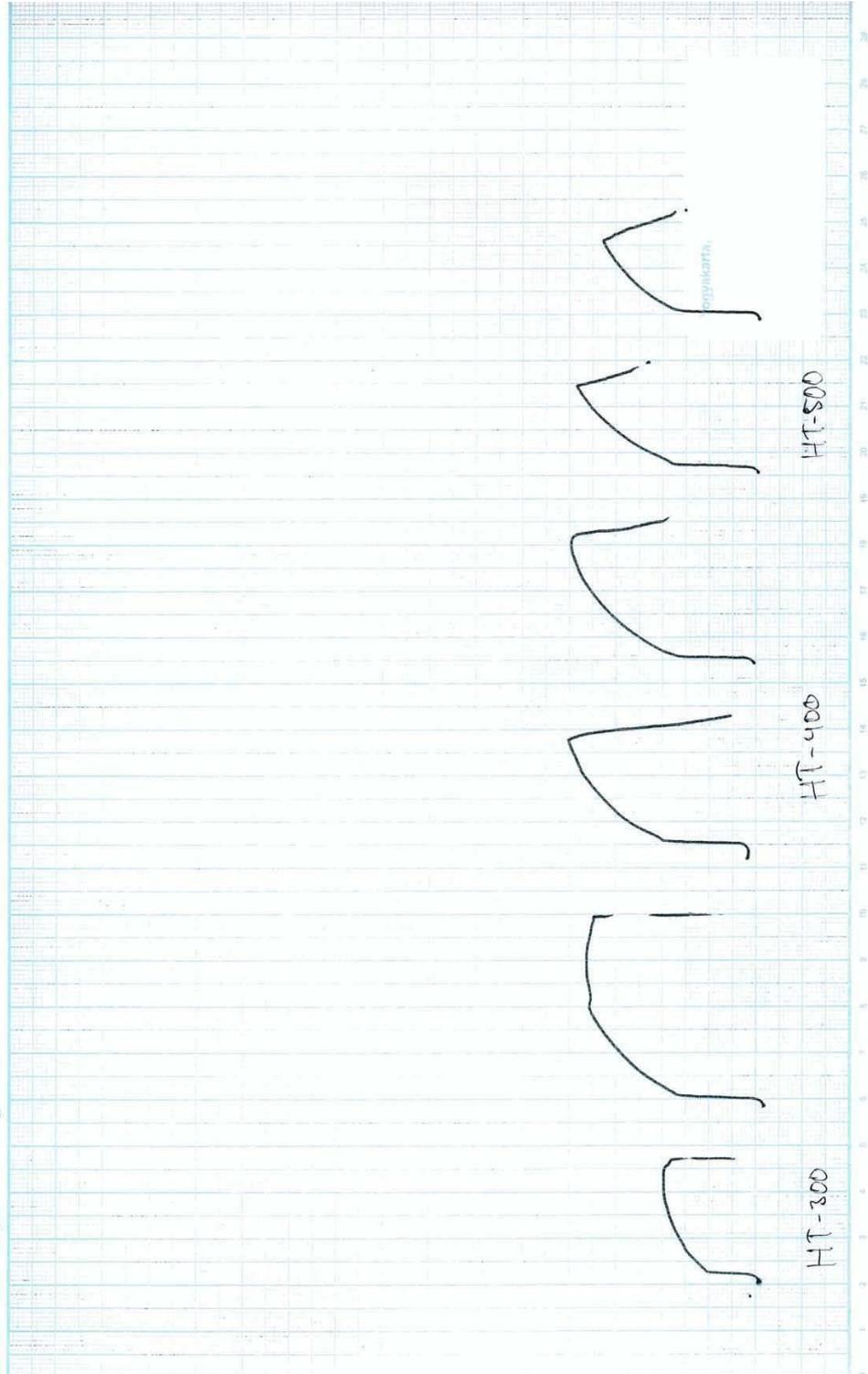
Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 20 Maret 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM E 290



Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281





LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

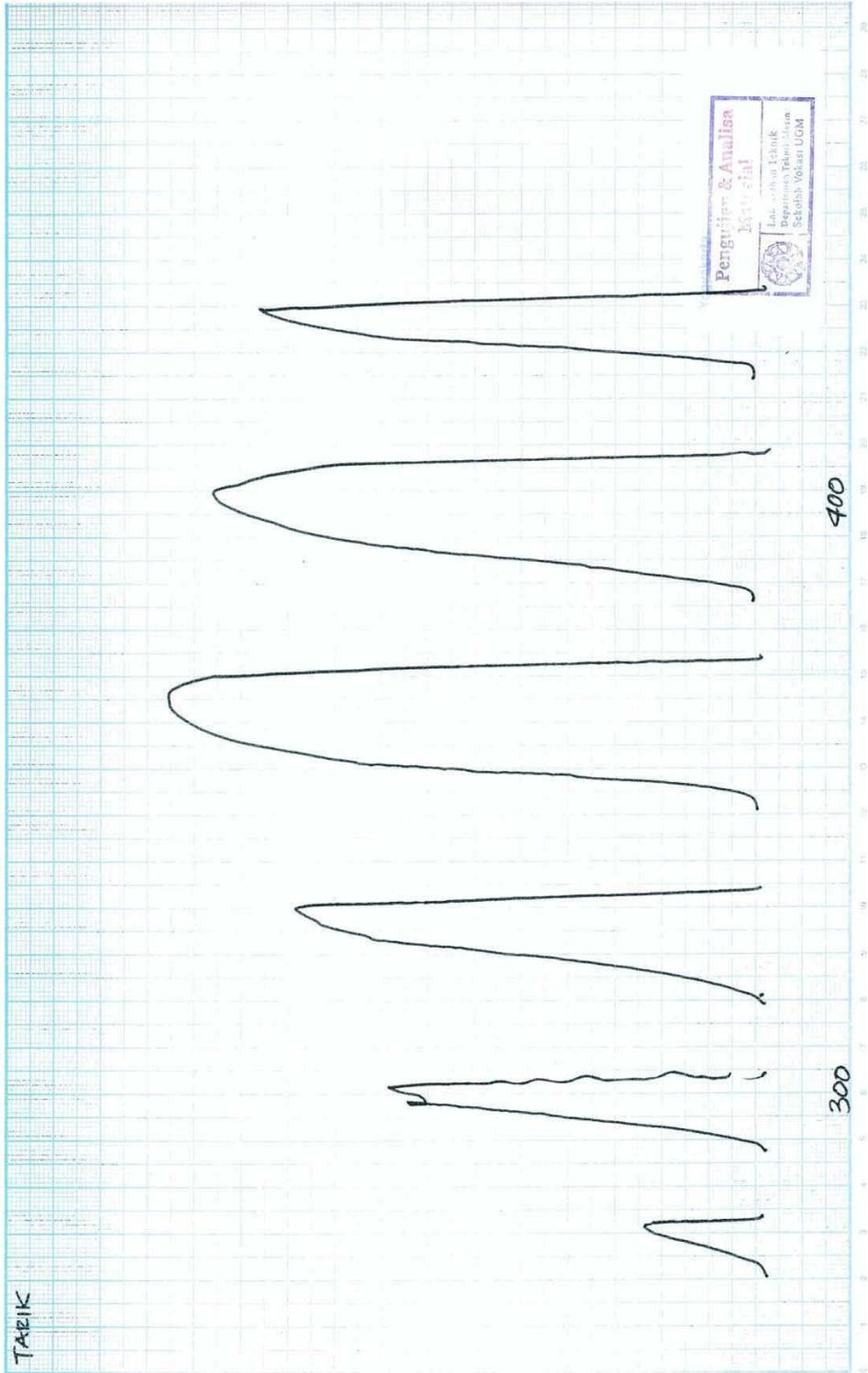
No.	Spesimen	Diameter (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	HT 300_1	13,81	36,07	3,01	240,93	6,69
2	HT 300_2	13,82	35,17	5,51	234,58	12,24
3	HT 300_3	17,07	44,01	5,22	192,40	11,60
4	HT 400_1	13,62	55,90	12,98	383,87	28,84
5	HT 400_2	13,55	51,64	7,13	358,29	15,84
6	HT 400_3	13,68	47,36	4,32	322,38	9,60
7	HT 500_1	13,94	51,13	7,65	335,18	17,00
8	HT 500_2	14,24	57,71	11,18	362,54	24,84
9	HT 500_3	13,65	40,18	6,99	274,71	15,53

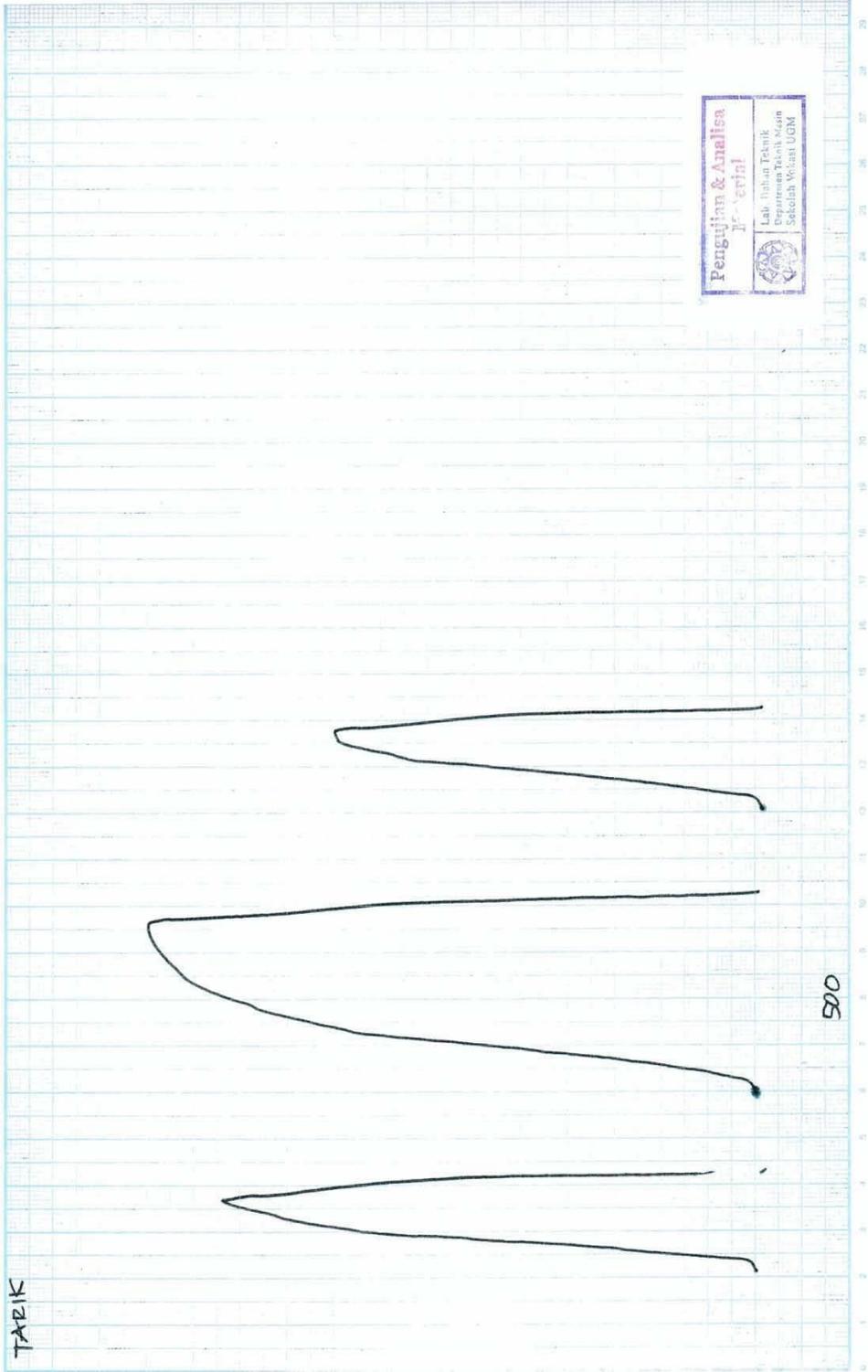
Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 13 Maret 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS 2201

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281







LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

PENGUJIAN KEKERASAN VICKERS

Variasi Perlakuan	Titik Uji	D1 (mm)	D2 (mm)	D rata-rata (mm)	Kekerasan (VHN)
300 Las	1	52,00	52,00	52,00	137,13
	2	50,00	50,00	50,00	148,32
	3	53,00	53,00	53,00	132,00
300 HAZ	1	55,00	55,00	55,00	122,58
	2	52,00	52,00	52,00	137,13
	3	52,50	52,50	52,50	134,53
300 Induk	1	42,50	42,50	42,50	205,29
	2	45,00	45,00	45,00	183,11
	3	47,00	47,00	47,00	167,86
400 Las	1	51,00	51,00	51,00	142,56
	2	52,00	52,00	52,00	137,13
	3	52,50	52,50	52,50	134,53
400 HAZ	1	52,00	52,00	52,00	137,13
	2	50,00	50,00	50,00	148,32
	3	53,00	53,00	53,00	132,00
400 Induk	1	45,00	45,00	45,00	183,11
	2	46,00	46,00	46,00	175,24
	3	46,50	46,50	46,50	171,49
500 Las	1	44,50	44,50	44,50	187,25
	2	44,00	44,00	44,00	191,53
	3	46,00	46,00	46,00	175,24
500 HAZ	1	48,00	48,00	48,00	160,94
	2	50,00	50,00	50,00	148,32
	3	48,00	48,00	48,00	160,94
500 Induk	1	44,00	44,00	44,00	191,53
	2	44,50	44,50	44,50	187,25
	3	45,00	45,00	45,00	183,11

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 13 Maret 2021
2. Pengujian menggunakan Hardness Micro Vickers
3. Pembebanan menggunakan 200 gf UGM

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

No.	Spesimen	Diameter (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	Spes 1	5,86	13,56	6,72	503,03	26,88
2	Spes 2	5,90	13,42	6,42	491,11	25,68

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 26 Juni 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS 2201

Lembar asli, tidak untuk digandakan

HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Spesimen	Diameter (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	Spes 1	15,88	25,95	10,65	583,21
2	Spes 2	15,87	25,69	10,44	578,46

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 26 Juni 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM E 290



Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281