



**PENGARUH SUHU *PREHEATING* PADA HASIL
PENGELASAN *GTA W* TERHADAP SIFAT FISIS
DAN MEKANIS *STAINLESS STEEL 304***

SKRIPSI

**Diajukan dalam rangka menyelesaikan Studi Strata 1
Untuk mencapai gelar Sarjana Pendidikan**

Oleh:

Nama : Dani Mega Sari

NIM : 5201410007

Prodi : Pendidikan Teknik Mesin, S1

Jurusan : Teknik Mesin

FAKULTAS TEKNIK

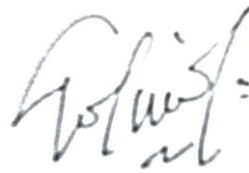
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2015

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul “Pengaruh Suhu *Preheating* pada Hasil Pengelasan GTAW terhadap Sifat Fisis dan Mekanis *Stainless Steel 304*” disusun berdasarkan hasil penelitian saya dengan arahan dosen pembimbing. Sumber informasi atau kutipan dari karya yang diterbitkan telah disebutkan dalam teks dan tercantum dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini. Skripsi ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar dalam program sejenis di perguruan tinggi manapun.

Semarang, Februari 2015



Dani Mega Sari

5201410007

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Dani Mega Sari

NIM : 5201410007

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Judul : Pengaruh Suhu *Preheating* pada Hasil Pengelasan GTAW terhadap Sifat Fisis dan Mekanis *Stainless Steel* 304

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Panitia Ujian

Ketua : Dr. M. Khumaedi, M.Pd.
NIP. 196209131991021001

Sekretaris : Wahyudi, S.Pd, M.Eng.
NIP. 198003192005011001



Dewan Penguji

Penguji Utama I : Drs. Aris Budiyono, M.T.
NIP. 196704051994021001

Penguji Utama II : Drs. Sunyoto, M.Si.
NIP. 196511051991021001

Penguji Pendamping : Rusiyanto. S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002



Ditetapkan di Semarang
Tanggal 26 Febuari 2015



Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik

Dr. M. Harlanu, M.Pd.
NIP. 19660215 199102 1 001

ABSTRAK

Dani Mega Sari, 2015. TM, FT, UNNES. “Pengaruh Suhu *Preheating* pada Hasil Pengelasan *GTAW* terhadap Sifat Fisis dan Mekanis *Stainless Steel 304*”.

Masalah yang timbul akibat proses pengelasan adalah terjadinya tegangan sisa akibat panas yang dihasilkan pada proses pengelasan, sehingga mengakibatkan terjadinya kerusakan atau cacat pada hasil las. *Preheating* yang dilakukan sebelum proses pengelasan bertujuan untuk menstabilkan spesimen agar tidak terjadi cacat las karena panas yang timbul pada saat pengelasan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu *preheating* pada hasil pengelasan *GTAW* terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik *stainless steel 304*.

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen, yang bertujuan mengetahui sebab dan akibat berdasarkan perlakuan yang diberikan oleh peneliti. Pada penelitian ini, perlakuan yang diberikan oleh peneliti adalah pengelasan dengan variasi suhu *preheating*. Pengelasan dilakukan dengan metode *GTAW* pada bahan *Stainless steel 304* dengan bahan pengisi/filler ER308 menggunakan arus 80 A dengan kampuh V tunggal 60°. Variasi suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah suhu kamar (tanpa *preheating*) 100°C, 200°C, 300°C kemudian diuji dengan menggunakan uji tarik dan foto mikro. Analisis data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan statistik deskriptif.

Pada hasil pengujian struktur mikro, struktur mikro pada logam las seperti *ferrite widmanstätten*, *ferrite acicular* dan *ferrite* batas butir (*grain boundary ferrite*). Perbedaan yang signifikan dipengaruhi suhu *preheating*, semakin tinggi suhu *preheating* maka letak butir-butir *ferrite* semakin besar. Hal tersebut mengakibatkan tingkat kekerasan yang tinggi pada logam las dan *HAZ*. Berdasarkan nilai yang diperoleh dari uji kekuatan tarik, nilai tegangan tertinggi rata-rata yaitu untuk pengelasan dengan temperatur *preheating* 100°C, 606.87 MPa. Nilai tegangan terendah rata-rata yaitu untuk pengelasan dengan temperature 300°C, 568.92 MPa. Hal ini disimpulkan bahwa temperatur yang ideal untuk *preheating* pada pengelasan *GTAW* untuk bahan *stainless steel 304* adalah pada suhu 100°C.

Kata kunci : Pengelasan, *GTAW*, *Preheating*, *Stainless Steel*

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. *A little things that we believe can make much miracle in our live.*
2. “Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain” (Q.S. Al Insyirah: 7).

PERSEMBAHAN

Saya persembahkan karya ini untuk:

1. Ibu Lasinah dan Bapak Parmo, orang tua yang selalu menyayangi, mencintai dan mengasihiku, serta selalu mendoakan kesuksesanku.
2. Mba Lani Suryani, Dek Erni Kurnia
Dan Dek Arif Faturrachman yang menjadi semangat dan motivasi dalam hidupku.
3. Keluarga Besar Teknik Mesin UNNES.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, dengan rahmat dan hidayah dari Allah SWT penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Suhu *Preheating* pada Hasil Pengelasan GTAW terhadap Sifat Fisis dan Mekanis *Stainless Steel 304*”. Skripsi ditulis dalam rangka menyelesaikan studi Strata 1 untuk mendapat gelar Sarjana Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bimbingan, bantuan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan penuh kerendahan hati disampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Drs. Muhammad Harlanu, M.Pd, Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. M. Khumaedi, M.Pd, Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Wahyudi, S.Pd, M.Eng, Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
4. Rusiyanto, S.Pd, M.T, pembimbing dan penguji pendamping yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi dan saran kepada penulis.
5. Drs. Aris Budiyono, M.T, penguji utama I yang telah memberikan banyak masukan dan saran kepada penulis.

6. Drs. Sunyoto, M.Si, penguji utama II yang telah memberikan banyak masukan dan saran kepada penulis.
7. Keluarga yang selalu mendo'akan serta memberi motivasi.
8. Sahabat seperjuangan dalam perkuliahan Anjar, Indra, Najib, Agus, Kuswantoro, Eko, Fauzi atas kebersamaan dan semua motivasi yang tercurah kepada penulis.
9. Teman-teman Program Studi Pendidikan Teknik Mesin angkatan 2010 yang telah memberikan motivasi dan saran kepada penulis.
10. Teman-teman Himpunan Mahasiswa Profesi (HIMPRO) Teknik Mesin.
11. Teman-teman Badan Eksekutif Mahasiswa Teknik (BEMTe) Th 2013.
12. Keluarga Young Shin (Rufaida) dan Khadijah yang selalu member dukungan dan motivasi kepada penulis.
13. Teman-teman seperjuangan untuk meraih gelar sarjana Ayu, Gaiety, Gabby, Mifta, Indana.
14. Semua pihak yang telah memberikan motivasi, saran dan masukan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan dunia pendidikan pada khususnya.

Semarang, Febuari 2015

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Pembatasan Masalah	5
C. Rumusan Masalah	6
D. Penegasan Istilah	6
E. Tujuan Penelitian	9
F. Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	11
A. Kajian Teori.....	11
B. Kajian Penelitian yang Relevan	28
C. Kerangka Berpikir	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
A. Bahan	32
B. Alat.....	32

C. Prosedur Penelitian	33
D. Teknik Pengumpulan Data	42
E. Analisis Data	42
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	45
A. Hasil Penelitian	45
B. Pembahasan	60
BAB V PENUTUP	64
A. Simpulan	64
B. Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN-LAMPIRAN	68

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
2.1	Berbagai Macam Las Dan Tahun Penemuannya	14
3.1	Alat dan Bahan	32
4.1	Hasil Uji Komposisi <i>Stainless Steel</i> 304	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Las Busur Listrik Dengan Pelindung Gas	18
2.2 Klasifikasi Jenis Las Busur Listrik Dengan Pelindung Gas	19
2.3 Diagram Rangka Listrik dan Mesin Listrik DC	19
2.4 Diagram <i>CCT</i>	24
2.5 Arah Pembekuan Dari Logam Las	25
2.6 Bagian Las	26
2.7 Transformasi Fasa Pada Logam Hasil Pengelasan	28
2.8 Kurva Tegangan-Regangan	29
2.9 Spesimen Uji Tarik	30
3.1 Diagram Penelitian	34
3.2 Kampuh V Tunggal	36
3.3 Spesimen Uji Tarik	38
3.4 Spesimen Foto Mikro	38
3.2 Alat Uji Foto Mikro	40
3.3 Alat Uji Tarik	41
4.1 Struktur Ferrite dan Pearlite Pada <i>Stainless Tell 304</i>	46
4.2 Struktur Austenit Yang Terdiri Dari Ferrite	46
4.3 Fase Austenit Dari <i>Grains Boundaries</i>	48

4.4	Fase Austenit Dari <i>Grains Boundaries</i>	48
4.5	Fase Austenit Dari <i>Grains Boundaries</i>	49
4.6	Foto Mikro Logam Induk Tanpa <i>Preheating</i>	49
4.7	Foto Mikro Logam Induk Suhu <i>Preheating</i> 100°C	50
4.8	Foto Mikro Logam Induk Suhu <i>Preheating</i> 200°C	50
4.9	Foto Mikro Logam Induk Suhu <i>Preheating</i> 300°C	51
4.10	Foto Mikro Logam Las Tanpa <i>Preheating</i>	52
4.11	Foto Mikro Logam Las Suhu <i>Preheating</i> 100°C	52
4.12	Foto Mikro Logam Las Suhu <i>Preheating</i> 200°C	53
4.13	Foto Mikro Logam Las Suhu <i>Preheating</i> 300°C	53
4.14	Foto Mikro <i>HAZ</i> Tanpa <i>Preheating</i>	54
4.15	Foto Mikro <i>HAZ</i> Suhu <i>Preheating</i> 100°C	55
4.16	Foto Mikro <i>HAZ</i> Suhu <i>Preheating</i> 200°C	55
4.17	Foto Mikro <i>HAZ</i> Suhu <i>Preheating</i> 300°C	56
4.18	Grafik Tegangan Luluh	58
4.19	Grafik Tegangan Maksimal	59
4.20	Grafik Regangan	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran		Halaman
1	Tabel Uji Tarik	68
2	Perhitungan Hasil Uji Tarik	69
3	Grafik Tegangan Regangan Hasil Uji Tarik	82
4	Grafik Hasil Uji Tarik	84
5	Surat Ijin Penelitian BLKI Semarang	88
6	Surat Ijin Penelitian D III Teknik Mesin UGM	89
7	Surat Keterangan Pengujian	90
8	Surat Hasil Pengujian Tarik	91
9	Spesimen Uji Tarik	92
10	Hasil Uji Komposisi	93
11	Sertifikat Las	94
12	Foto-Foto Kegiatan	95

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Kemajuan teknologi serta kebutuhan untuk menghasilkan konstruksi yang kuat menjadikan teknik pengelasan menjadi pilihan utama dalam pembangunan konstruksi. Oleh karena itu dibutuhkan hasil las yang memiliki kualitas yang baik untuk menunjang konstruksi yang kuat, aman dan tahan lama. Kualitas hasil pengelasan tidak hanya dapat dilihat secara visual, namun harus diketahui secara struktur. Hasil pengelasan yang baik secara visual, belum tentu memiliki struktur yang baik. Oleh karena itu, untuk mengetahui hasil pengelasan tersebut telah memenuhi kriteria, harus ada pengukuran atau pengujian hasil las.

Pada struktur hasil pengelasan banyak tidak disadari bahwa akan terjadi tegangan sisa setelahnya. Tegangan sisa yang ekstrim akan menimbulkan perubahan bentuk permanen, bahkan akan menjadikan hasil pengelasan menjadi retak. Tegangan sisa tidak bisa terlihat maupun terukur, tegangan sisa bisa dilihat dengan cara menganalisis struktur mikro hasil las yang disebut dengan *Non-Destructive Test (NDT)* dan dengan cara merusaknya atau dikenal dengan sebutan *Destructive Test (DT)*.

Tegangan sisa adalah tegangan yang diakibatkan bukan karena beban – beban: gaya, momen, torsi yang berasal dari luar. Tegangan sisa berasal dari dalam bahan itu sendiri. Hal ini bisa terjadi pada proses-proses laku dingin (*cold working*), seperti: pengerolan, penempaan, ekstrusi dan sejenisnya, yang intinya ada material yang mengalami deformasi permanen, yang biasanya juga diikuti terjadinya perubahan struktur mikro. Tegangan sisa juga terjadi pada perlakuan panas (*hot working*), dimana terjadi *thermal shock* pada proses pendinginannya, atau penggabungan dua material yang berbeda, sehingga terjadi perbedaan atau perubahan fasa. Pada laku panas tegangan sisa bisa terjadi pada pencelupan cepat (*quenching*) atau transformasi bahan yang berubah saat terjadi pendinginan pada proses pengelasan.

Salah satu penyebab terjadinya tegangan sisa adalah karena material tidak dipersiapkan terlebih dahulu sebelum dilakukan proses pengelasan. Pada proses pengelasan operator seringkali tidak mempunyai pengetahuan cukup dan hanya mengandalkan pengalaman lapangan, sehingga mengabaikan hal yang penting dalam proses pengelasan. Seperti halnya yang terjadi pada proses pengelasan yang dilakukan pada proyek pembangunan PLTU di Cilacap. Pengelasan dilakukan pada jenis baja tahan karat austenitik, *stainless steel 304*. Proses pengelasan dilakukan langsung tanpa melalui tahap *preheating* terlebih dahulu.

Stainless steel 304 yang termasuk dalam kelompok baja tahan karat austenitik. Baja jenis ini mengandung 18% Cr – 8% Ni. Unsur-unsur

tersebut merupakan unsur terpenting yang dapat membuat baja tahan karat ini berfrasa austenit pada temperatur kamar. Material ini memiliki struktur kristal *FCC* (*Face Centered Cubic*). Struktur ini diperoleh dengan adanya penambahan unsur paduan yang mampu menstabilkan fasa austenit pada beberapa kondisi temperatur kriogenik. Baja tahan karat austenitik memiliki fasa tunggal, hanya dapat ditingkatkan kekuatannya melalui *solid solution alloying* atau dengan *work hardening*. Struktur *FCC* yang dimiliki oleh austenit menyebabkan baja tahan karat jenis ini bersifat non-magnetik dan mempunyai ketangguhan yang cukup tinggi pada temperatur rendah. Baja ini mempunyai ketahanan korosi yang baik, mampu dibentuk dan mampu dilas. Kekurangan baja jenis ini adalah kecenderungan untuk mengalami korosi antar butir, korosi lubang dan korosi ratak tegangan (*Stress Corrosion Cracking*).

Menurut Callister pada Saefudin dan Ilman (2011:1), “baja karbon rendah mempunyai sifat mekanis yang baik; kekuatan tarik relatif tinggi antara 415 – 550 MPa (60.000 – 80.000 psi), ketangguhan baik dan relatif ulet (Callister, 2007)”.

Preheating/pemanasan awal bertujuan untuk menstabilkan suhu spesimen sebelum dilakukan pengelasan agar tidak terjadi kerusakan/cacat pada saat dan setelah pengelasan. Pada setiap jenis logam memiliki suhu yang berbeda-beda yang digunakan untuk suhu *preheating*. Tujuan perlakuan *preheating* untuk meningkatkan sifat mekanik dan sifat fisis logam. Oleh karena itu, pemilihan suhu

preheating sangat penting dilakukan untuk mendapatkan sifat fisis dan mekanis yang baik.

Menurut Sonawan dan Suratman (2006: 81), adanya pemanasan dan pendinginan produk lasan merupakan indikasi bahwa pada proses pengelasan sebenarnya terjadi proses perlakuan panas. Perubahan struktur mikro HAZ adalah salah satu contoh produk perlakuan panas pengelasan.

Metode pengelasan juga dapat mempengaruhi kualitas lasan. Metode yang digunakan harus sesuai dengan kebutuhan konstruksi. Salah satu metode pengelasan adalah *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) atau bisa juga disebut dengan *Tungsten Inert Gas* (TIG). Pengelasan GTAW sangat sangat tepat digunakan untuk *Stainless steel 304*.

Menurut Sudibyo dan Purboputro (2013: 42), pengelasan dengan menggunakan GTAW banyak digunakan untuk mengelas bahan *stainless steel*. Hal ini disebabkan gas tungsten akan mengusir oksigen yang akan menimbulkan oksida logam yang hasilnya sangat keras. Dengan GTAW, oksida logam tersebut dapat dihindari terbentuknya.

Metode pengelasan logam yang meliputi prosedur pengelasan, prosedur perlakuan panas, desain sambungan, serta teknik pengelasan disesuaikan dengan jenis bahan, peralatan, serta posisi pengelasan saat sambungan las dibuat. Aspek efektifitas, efisiensi proses, dan pertimbangan ekonomis berkaitan erat dengan pemilihan peralatan las.

Pengelasan logam *stainless steel* akan berkualitas bagus jika menggunakan las GTAW.

Menurut Sonawan dan Suratman (2006: 83), agar diperoleh hasil lasan yang baik pada baja tahan karat, maka pada proses pengelasan yang dipakai harus dapat menjamin adanya perlindungan khusus terhadap logam cair dari pengaruh lingkungan atmosfer.

Berdasarkan fenomena di atas penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Suhu *Preheating* pada Hasil Pengelasan *GTAW* terhadap Sifat Fisis dan Mekanis *Stainless Steel 304*”.

B. Pembatasan Masalah

Penelitian ini akan menjadi lebih jelas dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, maka peneliti perlu membatasi masalah yang diangkat dalam penelitian ini. Masalah yang diangkat peneliti adalah sebagai berikut:

- a. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah *stainless steel 304*.
- b. Pengelasan *stainless steel 304* menggunakan metode pengelasan GTAW arus *DC* dengan menggunakan arus 80 *Ampere*.
- c. *Filler*/bahan pengisi yang digunakan pada pengelasan adalah ER308.
- d. Sifat fisis ditentukan dengan menganalisis data hasil struktur mikro.
- e. Sifat mekanis ditentukan dengan menganalisis data hasil uji tarik.

Perolehan data sifat fisis dan mekanis hasil lasan *stainless steel* 304 dilakukan pengujian struktur mikro untuk menghasilkan data sifat fisis dan pengujian tarik untuk menghasilkan data sifat mekanis.

C. Rumusan Masalah

Preheating dalam pengelasan ditujukan untuk menurunkan laju pendinginan daerah hasil lasan. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, suhu yang digunakan untuk *preheating stainless steel* 304 sebelum dilakukan pengelasan adalah 100°C, 200°C dan 300°C. Pemilihan temperatur yang tepat diharapkan dapat mempengaruhi hasil lasan yang baik.

Berdasarkan uraian di atas maka muncul permasalahan yaitu:

- a. Bagaimana struktur mikro *stainless steel* 304 akibat variasi suhu *preheating* pada pengelasan *GTAW* ?
- b. Bagaimana kekuatan tarik *stainless steel* 304 akibat variasi suhu *preheating* pada pengelasan *GTAW* ?

D. Penegasan Istilah

Penegasan istilah perlu dilakukan supaya penelitian ini jelas dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, penulis perlu menegaskan istilah yang dipakai pada penelitian ini. Penegasan istilah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Pengelasan

Berdasarkan definisi dari Deutche Industrie Normen (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam

paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair (Wiryo Sumarto dan Okumura, 2000: 1).

b. *GTAW (Gas Tungsten Arch Welding)*

GTAW (Gas Tungsten Arch Welding) atau yang sering disebut dengan *Tungsten Inert Gas (TIG)* adalah pengelasan dengan menggunakan busur nyala yang dihasilkan oleh elektroda tetap terbuat dari tungsten. Sedang sebagai bahan penambah terbuat dari bahan yang sama atau sejenis dengan bahan yang dilas dan terpisah dari pistol las (*welding gun*) (Sriwidharto, 1996: 15).

c. *Preheating*

Preheating atau pemanasan awal adalah memanaskan seluruh/sebagian benda sebelum pengelasan untuk mengurangi perbedaan panas yang terjadi antara daerah las dengan daerah sekitarnya dan tinggi rendahnya pemanasan awal tergantung tinggi rendahnya kandungan unsur karbon (Alip, 1989: 232).

Preheating/pemanasan awal bertujuan untuk menstabilkan suhu spesimen sebelum dilakukan pengelasan agar tidak terjadi kerusakan/cacat pada saat dan setelah pengelasan. Pada setiap jenis logam memiliki suhu yang berbeda-beda yang digunakan untuk suhu *preheating*.

d. Sifat Fisis

Sifat fisis adalah sifat yang dapat dikenal dengan panca indera, misal bentuk dapat dilihat. Ada beberapa sifat fisis bahan

yang mempengaruhi kualitas lasan antara lain susunan Kristal daya hantar panas dan titik cairnya (Alip, 1989: 84).

e. Sifat Mekanis

Sifat Mekanis adalah reaksi dan ketahanan bahan terhadap beban yang diterima. Secara sederhana sifat mekanis bahan dapat diketahui dari mudah tidaknya suatu benda dibengkok diputus, dipecah dan sebagainya. Secara teknis sifat mekanis bahan meliputi kekuatan membawa beban, elastisitas, keliatan (*ductility*), kekerasan, ketahanan dan kemampuan menerima beban kejut (Alip, 1989: 84).

f. *Stainless Steel*

Baja anti karat (*stainless steel*) adalah istilah umum untuk kelompok baja campuran anti karat yang mengandung kromium 10.5% atau lebih. Semua baja anti karat memiliki daya tahan tinggi terhadap karat. Ketahanan ini karena terjadinya pembentukan selaput oksid krom kaya secara alami di permukaan baja. Walaupun sangat tipis, lapisan ini nampak, lapisan *lebam* merupakan pengikat logam yang kuat dan pelindung yang kuat dalam rentang yang luas dari media karat. Lapisan ini memperbaiki diri dengan cepat karena adanya oksigen dan rusak karena goresan, pemotongan dan pengerjaan dengan mesin diperbaiki dengan cepat.

Semua *stainless steel* memiliki ketahanan tinggi terhadap karat. Tingkat logam yang rendah menjaga karat tetap diudara,

sedangkan tingkat logam tinggi dapat menahan karat pada asam tertinggi, solusi alkali, dan sekitar klorida yang kuat, bahkan pada suhu dan tekanan yang meningkat.

Ketika nikel ditambahkan pada baja anti karat dengan jumlah/takaran yang cukup, struktur kristalnya berubah menjadi 'austenite'. Susunan/komposisi dasar dari *stainless steel* austenitis adalah kromium 18% dan nikel 8%. Tingkatan austenitis biasanya digunakan paling banyak *stainless steel* hitungannya untuk lebih dari 70% dari produksi.

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan permasalahan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- c. Mengetahui pengaruh suhu *preheating* pada las *GTAW* terhadap sifat fisis (struktur mikro) *stainless steel* 304.
- d. Mengetahui pengaruh suhu *preheating* pada las *GTAW* terhadap sifat mekanis (kekuatan tarik) *stainless steel* 304.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat bagi pembacanya. Manfaat dari penelitian ini diantaranya adalah manfaat teoritis dan manfaat praktis. Manfaat teoritis dan manfaat praktis dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Manfaat Teoritis

- 1) Memberikan tambahan ilmu tentang pengetahuan di bidang ilmu dan teknologi khususnya ilmu logam.
 - 2) Sebagai bahan kajian atau informasi yang bermanfaat bagi industri khususnya bidang konstruksi pengelasan.
- b. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman dalam bidang konstruksi pembangunan khususnya dalam pengelasan sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil pengelasan di lapangan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Pengelasan

Pengelasan adalah penyambungan dua bahan atau lebih yang didasarkan pada prinsip-prinsip proses difusi, sehingga terjadi penyatuan bagian bahan yang disambung. Sambungan las saat ini banyak diterapkan pada pembangunan konstruksi karena kelebihanannya pada kekuatan untuk menahan beban, serta kemudahan pelaksanaannya yang mempengaruhi nilai ekonomis sehingga pengelasan menjadi pilihan utama pembangunan konstruksi.

Kebutuhan las yang semakin berkembang berbanding lurus dengan perkembangan pada pengelasan, misalnya pada metode pengelasan. Metode pengelasan yang ada sekarang ini sudah mengalami perkembangan. Menurut Cornu dalam Teori dan Praktek Las (Alip, 1989: 32) dijabarkan tentang berbagai macam las dan tahun penemuannya.

Tabel 2.1 Berbagai Macam Las dan Tahun Penemuannya

Jenis Las	Tahun Penemuannya
Las Busur Elektroda Carbon Batang	1880
Las Tahanan Listrik	1885
Las Thermit	1890
Las Oxy-Acetylene	1895
Las Busur Elektroda Terbungkus (batangan)	1900
Las Bususr Elektroda Terbungkus Cellulose	1905

Las Flash	1910
Las Busur Terendam Elektrode Gulungan	1915
Las Busur Elektroda Terbunkuns	1920
Las Bususr Elektroda Tungsten	1925
Las Busur Elektroda Kusus	1930
Las Bususr-Gas Elektroda Gulungan	1935
Las Busur –Slag	1940
Las MAG	1945
Las Busur Elektroda Berinti	1950
Las Elektron	1955
Las Gesek	1960
Las Elektroda-Gas	1965
Las MAG Hubungan Pendek	1970
Las Plasma	1975
Las Difusi	1980
Las Ledakan	1985
Las Laser	1990

2. Prosedur dan Teknik Pengelasan

Rincian metode dan praktek yang digunakan untuk persiapan lasan tertentu disebut prosedur pengelasan (*welding procedure*). Prosedur las memperkenalkan seluruh variabel las berhubungan dengan suatu kerja atau proyek tertentu. Variabel tersebut meliputi proses pengelasan, jenis base metal, desain sambungan, posisi pengelasan, jenis pelindung (*shielding*), *preheating* dan *post-heating* yang dibutuhkan, *setting* mesin las, dan pengujian yang diperlukan.

Prosedur pengelasan digunakan untuk menghasilkan las yang sesuai kebutuhan kode yang umum digunakan. *American Welding Society* (AWS) menerbitkan *Structural Welding Code* yang digunakan untuk desain dan konstruksi struktur baja. Kode lain yang

digunakan untuk konstruksi *boiler* uap dan tabung bertekanan telah diterbitkan oleh *American Society of Mechanical Engineers (ASME)*.

Menurut Alip (1989: 35), mengelas bukanlah sekedar memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkannya beku kembali, tetapi membuat lasan yang utuh dan mempunyai kekuatan seperti dikehendaki. Integritas dan kekuatan lasan dipengaruhi beberapa faktor antara lain bahan benda kerja, bahan tambah, lingkungan berlangsungnya proses, jenis proses yang dipakai, sumber panas (pada las fusi), besarnya tekanan pada las tekan dan kondisi permukaan benda kerja pada las difusi.

Oleh karena itu seluruh aspek mulai dari persiapan sampai pengujian hasil las diatur dalam prosedur dan teknik pengelasan. Pengelasan yang dilakukan sesuai prosedur dan teknik pengelasan diharapkan akan mendapatkan hasil dan kualitas yang baik.

3. Pengelasan GTAW

Sebelum melakukan pengelasan, harus ditentukan metode yang akan digunakan saat pengelasan. Menentukan metode yang akan digunakan untuk pengelasan harus mempertimbangkan kebutuhan las serta bahan yang akan dilas. Pada penelitian ini digunakan proses pengelasan dengan menggunakan metode pengelasan *GTAW*. Pengelasan dengan menggunakan *GTAW* banyak digunakan untuk mengelas bahan *stainless steel*. Hal ini disebabkan gas tungsten akan

mengusir oksigen yang akan menimbulkan oksida logam yang hasilnya sangat keras. Dengan *GTAW*, oksida logam tersebut dapat dihindari terbentuknya.

GTAW atau yang sering disebut dengan *Tungsten Inert Gas* (TIG) adalah pengelasan dengan menggunakan busur nyala yang dihasilkan oleh elektroda tetap terbuat dari tungsten. Sedang sebagai bahan penambah terbuat dari bahan yang sama atau sejenis dengan bahan yang dilas dan terpisah dari pistol las (*welding gun*) (Sriwidharto, 1996: 15).

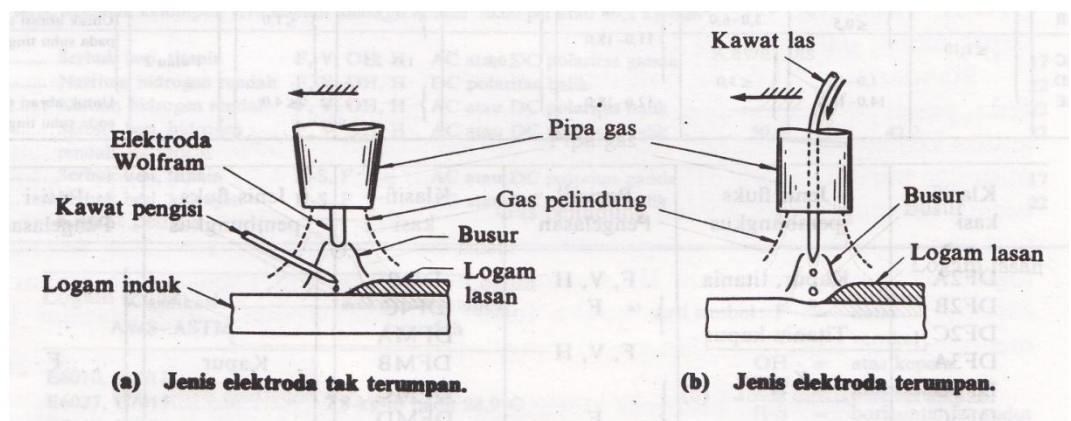
Las Busur Listrik dengan pelindung Gas, lazimnya jenis mesin ini disebut *GTAW* (*Gas Tungsten Arc Welding*) atau TIG (*Tungsten Inert Gas*) *Welding*. Jenis Mesin Las Busur Listrik dengan pelindung Gas adalah cara pengelasan dimana gas dihembuskan ke daerah las untuk melindungi busur dan logam yang mencair terhadap udara sekitarnya (oksidasi). Gas yang digunakan sebagai pelindung adalah gas Helium (He), gas Argon (Ar), gas Karbondioksida (CO₂) atau campuran dari gas –gas tersebut.

Menurut Wiryosumarno dan Okumura (2000: 17), penggunaan las *TIG* mempunyai dua keuntungan, yaitu pertama kecepatan pengumpanan logam pengisi dapat diatur terlepas dari besarnya arus listrik sehingga penetrasi ke dalam logam pengisi dapat diatur semaunya. Keuntungan yang kedua adalah kualitas yang lebih baik

dari daerah las. Oleh karena itu, maka *TIG* biasa digunakan untuk pengelasan baja-baja berkualitas tinggi seperti baja tahan karat, baja tahan panas dan untuk mengelas logam-logam bukan baja.

a. Elektroda

Las busur gas biasanya dibagi dalam dua kelompok besar yaitu kelompok Elektroda tak terumpan dan kelompok elektroda terumpan. Kelompok elektroda tak terumpan menggunakan batang *wolfram* sebagai elektroda yang dapat menghasilkan busur listrik tanpa ikut mencair, sedangkan kelompok elektroda terumpan sebagai elektrodanya digunakan kawat las. Elektroda pada *GTAW* termasuk elektroda tidak terumpan (*non consumable*) berfungsi sebagai tempat tumpuan terjadinya busur listrik.

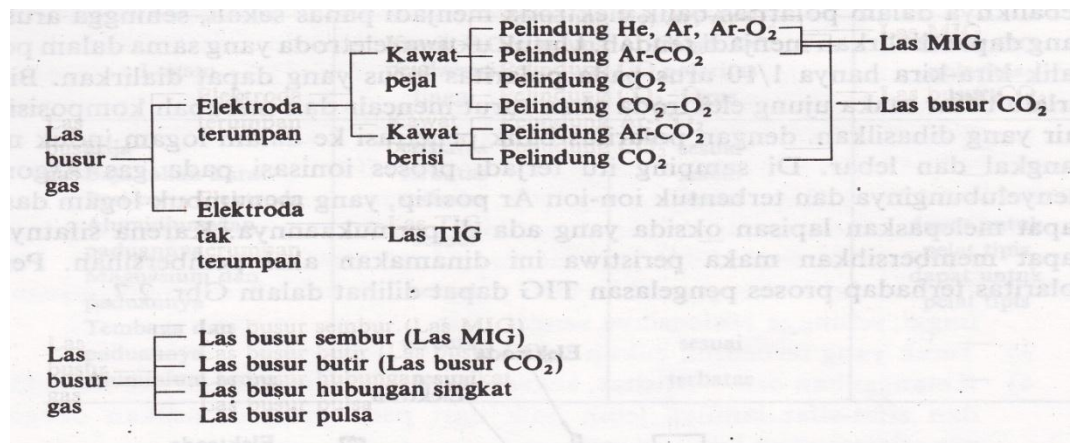


Gambar 2.1 Las Busur Listrik dengan Pelindung Gas (Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 16)

Kelompok elektroda tak terumpan masih dibagi lagi kedalam dua jenis yaitu jenis dengan logam pengisi dan jenis

tanpa logam pengisi. Kelompok ini biasanya menggunakan gas mulia sebagai pelindung sehingga secara keseluruhan nama kelompok ini menjadi *Las Wolfarm Gas Mulia /TIG (Tungsten Inert Gas) welding*.

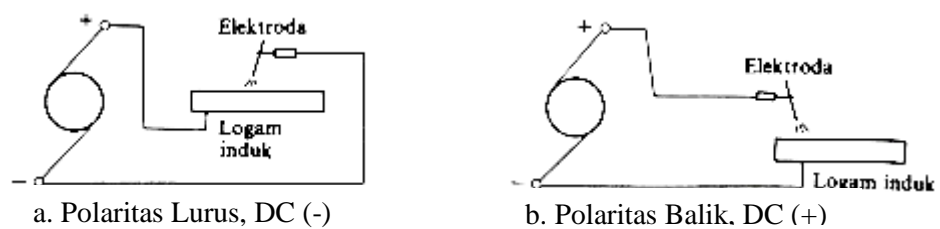
Kelompok elektroda terumpan masih dibagi lagi dalam dua jenis berdasarkan kawat elektrodanya, yaitu jenis kawat elektroda pejal dan jenis kawat elektroda dengan inti fluks. Kelompok ini digunakan dua macam gas pelindung yaitu gas mulia dan gas CO_2 . Kelompok dengan pelindung gas mulia nama keseluruhannya menjadi *Las busur logam gas mulia/MIG (Metal Inert Gas) welding*. Pada waktu ini umumnya gas pelindung yang digunakan berupa campuran dari gas Ar dan gas CO_2 .



Gambar 2.2 Klasifikasi Jenis Las Busur Listrik dengan Pelindung Gas
(Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 17)

b. Polaritas

Pengelasan *GTAW* dapat menggunakan sumber arus listrik *DC* atau listrik *AC*. Arus listrik *DC* rangkaian listriknya dapat dengan polaritas lurus dimana kutub positif dihubungkan dengan logam induk dan kutub negatif dengan batang elektroda atau rangkaian sebaliknya yang disebut polaritas terbalik.



Gambar 2.3 Diagram Rangkaian Listrik dan Mesin Las Listrik *DC*

(Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 17)

Polaritas lurus atau *DCSP* (*Direct Current Straight Polarity*) elektron bergerak dari elektroda dan menumbuk logam induk dengan kecepatan yang tinggi sehingga dapat terjadi penetrasi yang dalam. Pada elektroda tidak terjadi tumbukan elektron maka secara relatif suhu elektroda tidak terlalu tinggi. Pada polaritas terbalik atau *DCRP* (*Direct Current Reverse Polarity*) elektron bergerak dari logam induk ke arah elektroda, sehingga selain memanaskan logam induk, panas elektroda tungsten pun meningkat. Pemakaian arus yang tinggi pada polaritas *DCRP* dapat melelehkan elektroda *wolfram* / tungsten. Penetrasi menjadi dangkal yang sangat sesuai untuk pengelasan logam yang tipis. Saat pemanasan juga menghasilkan ionisasi

gas pelindung argon yang menghasilkan ion-ion argon positif yang menumbuk logam induk dan mengakibatkan peristiwa pembersihan (*Cleaning Action*) pengelasan.

c. Gas Pelindung (*Shielding Gas*)

Fungsi utama dari gas pelindung adalah melindungi logam las dari kontaminasi udara luar, disamping itu juga sebagai fluida pendingin elektroda tungsten. Gas pelindung yang digunakan biasanya gas mulia yang sulit sekali bereaksi dengan udara luar. Tetapi kadang-kadang dipakai juga gas yang lain seperti Nitrogen (N_2), Oksigen (O_2), dan Karbondioksida (CO_2). Gas pelindung yang biasanya digunakan pada *GTAW* adalah gas mulia Argon (Ar), Helium (He), atau campuran keduanya.

Argon adalah gas mulia yang stabil, sulit bereaksi dengan unsur lainnya. Argon sebagai gas pelindung membuat busur lebih stabil dan percikan berkurang. Argon lebih mudah mengion atau terionisasi dibandingkan dengan helium, sehingga argon dapat dianggap sebagai konduktor listrik. Konduktivitas panas argon rendah, menyebabkan pengaliran panas melalui busur lambat. Oleh sebab itu sangat baik untuk pengelasan logam yang tipis.

Helium merupakan gas mulia yang tidak mudah bereaksi dengan unsur lainnya. Konduktivitas panas helium lebih tinggi dari argon, sehingga pemindahan panas melalui busur lebih

besar, akibatnya helium lebih cocok untuk proses pengelasan logam yang lebih tebal, dan logam yang mempunyai konduktivitas panas yang tinggi seperti aluminium, tembaga, magnesium. Tegangan busur lebih tinggi jika menggunakan Helium dan banyak terjadi percikan serta penetrasi yang dihasilkan dangkal.

d. Perlengkapan Las *GTAW*

- 1) Mesin Las
- 2) *Torch* Las
- 3) Tabung Gas
- 4) Meja Las
- 5) APD (Alat Pelindung Diri)

4. *Stainless Steel*

Stainless steel merupakan campuran dari berbagai jenis logam. Nama *stainless steel* didefinisikan secara teknis sebagai logam dengan minimal 10.5% kandungan Chromium. Secara umum, semakin banyak komposisi logam Chromium, semakin kuat besi itu tahan terhadap korosi. Berkaitan apakah *stainless steel* itu magnetik, jawabannya bergantung terhadap komposisi logam tersebut. *Stainless steel* dasar memiliki struktur '*ferritic*' dan bersifat magnetik. Namun ketika ditambahkan Nikel (untuk penguat struktur) akan mengubah sifat struktur besi dan menjadi tidak magnetik. *Stainless steel* yang

sering kita temukan dalam kehidupan sehari-hari memiliki komposisi nikel dalam cukup besar sehingga bersifat tidak magnetik.

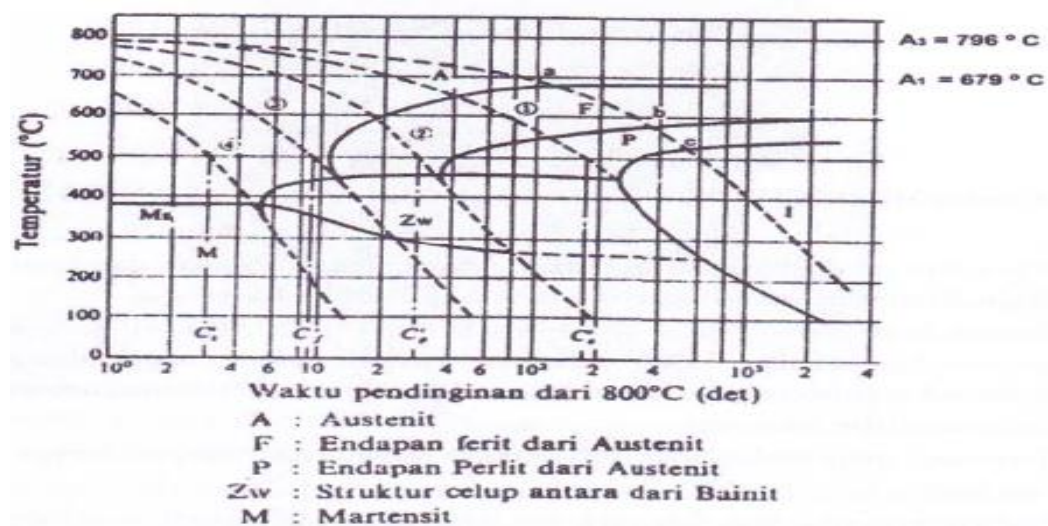
Stainless steel dapat bertahan dari serangan karat berkat interaksi bahan-bahan campurannya dengan alam. *Stainless steel* terdiri dari besi, krom, mangan, silikon, karbon dan mengandung nikel dalam jumlah yang cukup banyak. Elemen-elemen ini bereaksi dengan oksigen yang ada di air dan udara membentuk sebuah lapisan yang sangat tipis dan stabil yang mengandung produk dari proses karat/korosi yaitu metal oksida dan hidroksida. Krom, bereaksi dengan oksigen, memegang peranan penting dalam pembentukan lapisan korosi ini. Pada kenyataannya, semua *stainless steel* mengandung paling sedikit 10% krom.

Keberadaan lapisan korosi yang tipis ini mencegah proses korosi berikutnya dengan berlaku sebagai tembok yang menghalangi oksigen dan air bersentuhan dengan permukaan logam. Hanya beberapa lapisan atom saja cukup untuk mengurangi kecepatan proses karat selambat mungkin karena lapisan korosi tersebut terbentuk dengan sangat rapat. Lapisan korosi ini lebih tipis dari panjang gelombang cahaya sehingga tidak mungkin untuk melihatnya tanpa bantuan instrumen moderen.

5. Diagram CCT (*Continous Cooling Transformation*)

Pada umumnya struktur mikro dari baja tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenit sampai ke suhu

kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki juga berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, suhu dan transformasi yang dalam bahasa Inggrisnya adalah "Continuous Cooling Transformation" dan disingkat menjadi diagram *CCT* (Wirjosumarto dan Okumura 2000 : 43).



Gambar 2.4 Diagram *CCT* (Widharto 2013: 460)

Pada diagram *CCT*, selain memperlihatkan hubungan temperatur dan waktu juga terdapat fasa-fasa yang mungkin terjadi pada kasus pendinginan tertentu. Huruf A dalam diagram menyatakan fasa austenit, huruf F= Ferit, P= Perlit, B= Bainit, M= Martensit dan Ms atau martensit *start*= garis transformasi mulai terbentuknya fasa martensit, serta angka-angka disetiap garis pendinginan menyatakan angka kekerasan. Garis-garis yang ada

pada diagram *CCT* merupakan batas antara satu fasa dengan fasa lain.

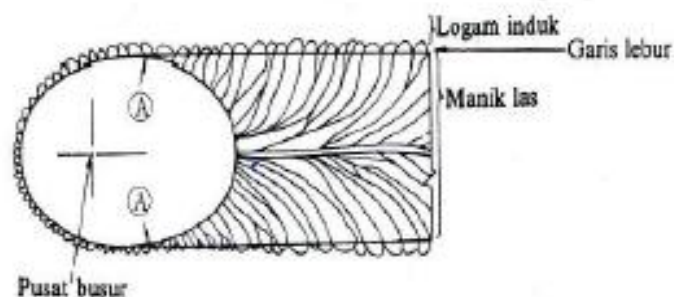
6. Siklus *Thermal* Daerah Lasan

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2000: 56), daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas yang dalam bahasa Inggrisnya adalah “Heat Affected Zone” dan disingkat menjadi daerah HAZ dan logam induk yang tak terpengaruhi.

a. Logam Las

Menurut Widharto (2013: 455), logam las adalah perpaduan antara bahan pengisi (*filler metal*) dengan logam induk yang kemudian setelah membeku membentuk jalur las.

Logam didaerah pengelasan mengalami siklus termal yakni pencairan kemudian pembekuan. Kondisi ini menyebabkan perubahan struktur mikro dari logam yang bersangkutan.



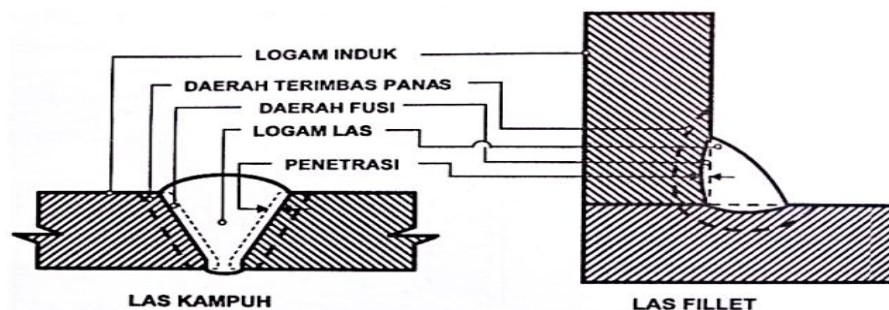
Gambar 2.5 Arah Pembekuan dari Logam Las (Wiryosumarto dan Okumura 2000: 57)

Pada Gambar 2.5 ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang berbentuk pilar.

Titik A dari gambar tersebut adalah titik mula dari struktur pilar yang selalu terletak dalam logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber panas. Pada garis lebur sebagian dari logam dasar turut mencair dan selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama (Wirjosumarto dan Okumura 2000: 57).

b. Logam Induk

Menurut Widharto (2013: 456), logam induk adalah bagian logam yang jauh dari bagian las sehingga tidak terpengaruh oleh suhu panas las dan tetap dalam struktur mikro dan sifat semula.



Gambar 2.6 Bagian las (Widharto 2013: 456)

Menurut Aisyah (2013: 21), baja *hypoeutectoid* memiliki struktur mikro yang terdiri dari butiran kristal *ferrite* dan *pearlite*. *Ferrite* adalah suatu komposisi logam (fasa) yang mempunyai kandungan karbon 0,025 % pada suhu 723 °C, struktur kristalnya *Body Center Cubic* (BBC) dan pada suhu kamar mempunyai batas kelarutan karbon 0,0008 %. *Pearlite*

adalah campuran *eutectoid* antara *ferrite* dengan *cementite* yang terbentuk pada suhu 723 °C dengan kandungan karbon 0,83 %. *Cementite* adalah suatu senyawa yang terdiri dari unsur Fe dan C dengan perbandingan tertentu (Fe_3C) dengan struktur kristalnya *orthohombik*.

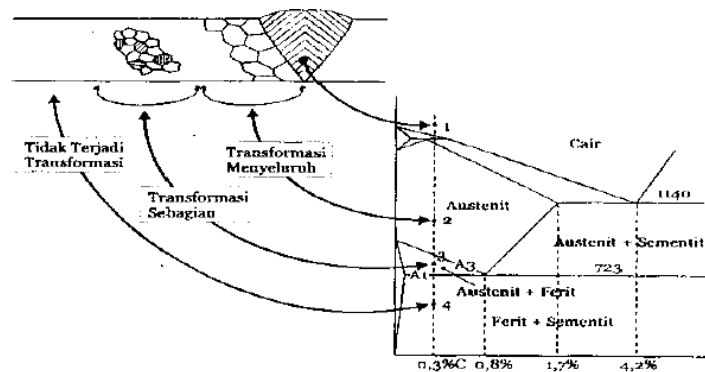
c. *Heat Affected Zone (HAZ)*

Menurut Sonawan dan Suratman (2006: 66), pemanasan lokal pada permukaan logam induk selama proses pengelasan menghasilkan daerah pemanasan yang unik, artinya disetiap titik yang mengalami pemanasan itu memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Pada pengelasan busur listrik, permukaan logam yang berhubungan langsung dengan busur listrik akan mengalami pemanasan paling tinggi yang memungkinkan daerah tersebut mencapai titik cairnya.

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2000: 56), daerah terimbas panas atau *HAZ* adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat.

Ada tiga titik berbeda yang terdapat di daerah *HAZ*. Titik satu dan dua menunjukkan temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa austenit, daerah ini disebut dengan daerah transformasi menyeluruh yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit kemudian bertransformasi menjadi austenit

100%. Titik tiga menunjukkan temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa ferit dan austenit, daerah ini disebut dengan daerah transformasi sebagian yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit berubah menjadi ferit+austenit (Sonawan dan Suratman, 2006: 71).



Gambar 2.7 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan (Sonawan dan Suratman, 2006: 72)

Perubahan metalurgi yang paling penting dalam pengelasan adalah perubahan struktur mikro pada *HAZ* maupun daerah las. Perubahan struktur mikro yang terjadi akan menentukan sifat mekanik pada sambungan las, seperti kuat tarik dan kekerasannya (Aisyah 2011: 16).

7. Foto Mikro

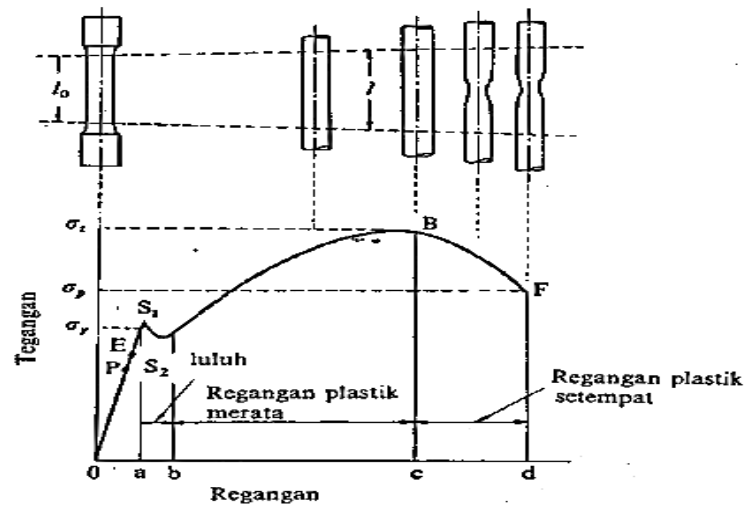
Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk mengetahui dan membedakan struktur mikro antara logam induk yang diberikan pada saat proses (Perlakuan panas) (Suparjo dan Purnomo, 2012: 171). Sifat fisis logam dapat diketahui melalui struktur mikro yang didapatkan dari hasil foto mikro. Struktur mikro dalam logam

(paduan) ditunjukkan dengan besar, bentuk dan orientasi butirnya, jumlah fasa, proporsi dan kelakuan dimana mereka tersusun atau terdistribusi. Struktur mikro dari paduan tergantung dari beberapa faktor seperti, elemen paduan, konsentrasi dan perlakuan panas yang diberikan.

8. Uji Tarik

Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Salah satu cara untuk mengetahui besaran sifat mekanik dari logam adalah dengan uji tarik. Sifat mekanik yang dapat diketahui adalah kekuatan dan elastisitas dari logam tersebut. Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Nilai kekuatan dan elastisitas dari material uji dapat dilihat dari kurva uji tarik.

Dalam pengujian tarik, batang uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit sampai batang uji patah.



Gambar 2.8 Kurva tegangan – regangan (Wiriyosumarto dan Okumura, 2000: 182)

Menurut Wiriyosumarto dan Okumura (2000: 181), sifat-sifat tarikannya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

Tegangan :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \left(\text{kg/mm}^2 \right)$$

Dimana : F = beban (kg)

A_0 = luas mula dari penampang batang uji (mm^2)

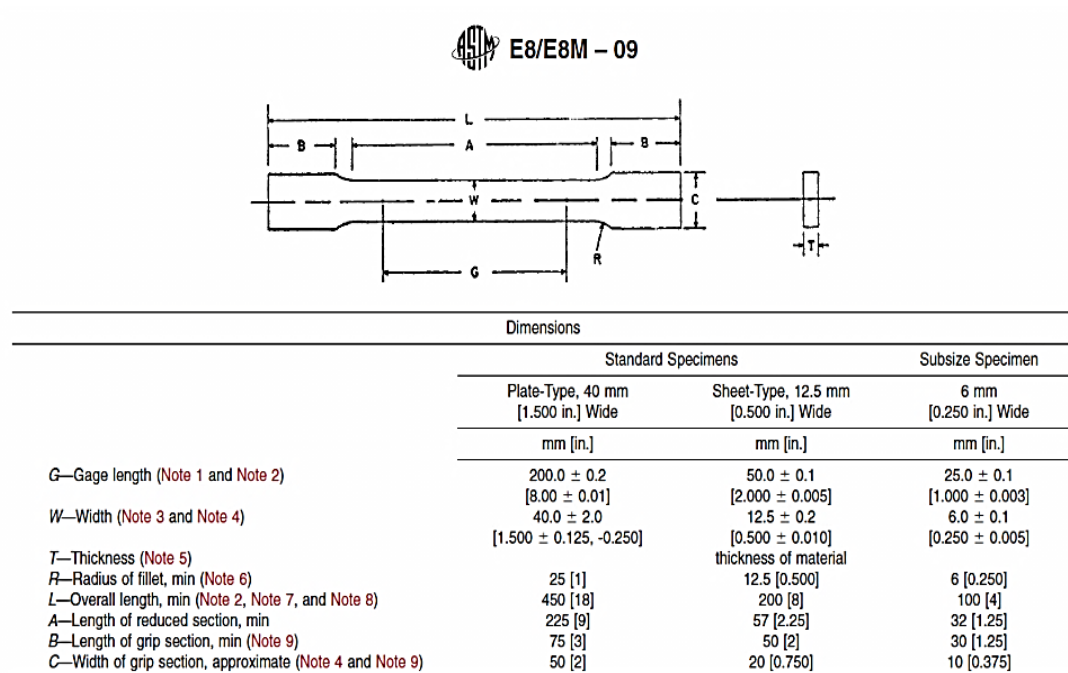
Regangan :

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana : L_0 = panjang mula dari batang uji

L = panjang batang uji yang dibebani

Pembuatan spesimen uji tarik mengacu pada ASTM E8/EM8-09.



Gambar 2.9 Spesimen uji tarik mengacu standar ASTM E8/E8M-09 (ASTM 2012: 6)

B. Kajian Penelitian yang Relevan

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang digunakan sebagai landasan/patokan pada penelitian yang akan dilakukan. Oleh karena itu akan lebih relevan apabila penulis mengulas tentang hasil penelitian yang sudah ada sehingga dapat dilakukan sebagai acuan untuk penelitian yang akan dilakukan.

Penelitian pertama, Sudibyo dan Purboputro (2013), '*Pengaruh Pengelasan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) Dengan Variasi Pendinginan Air Dan Udara Pada Stainless Steel 304 Terhadap Uji Komposisi Kimia, Struktur Mikro, Kekerasan Dan Uji Impact*'. Tujuan

penelitian adalah untuk mengetahui kandungan unsur setelah spesimen *stainless steel* dasar dan daerah HAZ, mengetahui pengaruh proses pengelasan daerah dasar dan HAZ pada pengelasan pendinginan udara dan air, mengetahui pengaruh proses pengelasan terhadap kekerasan dan untuk mengetahui kekuatan impak sebelum dan setelah pengelasan. Pada penelitian ini selain dilakukan dengan variasi perbedaan media pendingin, yaitu air dan udara, namun variasi juga terdapat pada arus yang digunakan untuk pengelasan, yaitu 100 *Ampere* dan 250 *Ampere*. Data dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah dari hasil pengujian kekerasan *Brinell*, diperoleh hasil kekerasan rata-rata pendinginan air, arus 100 *Ampere*, sebesar 315,6 Kg/mm² kemudian dengan pendinginan udara didapat harga kekerasan rata-rata sebesar 118,1 Kg/mm² sedangkan untuk pendinginan air, arus 250 *Ampere* diperoleh harga kekerasan rata-rata sebesar 298,6 Kg/mm² kemudian dengan pendinginan udara, arus 250 *Ampere*, harga kekerasan rata-rata sebesar 120,7Kg/mm². Dari hasil pengujian Impak, diperoleh hasil impak rata-rata pendinginan air, arus 100 *Ampere* adalah sebesar 1,100 J/mm² kemudian setelah mengalami proses pendinginan udara didapat harga impak rata-rata sebesar 1,320 J/mm². Sedangkan untuk pendinginan air, arus 250 *Ampere* harga impak rata-rata sebesar 1,038J/mm² kemudian yang mengalami proses pendinginan udara harga impak rata-rata sebesar 1,977J/mm². Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa material poros roda depan sepeda motor setelah mengalami proses *annealing* maka akan

semakin ulet. Untuk pengujian komposisi kimia dapat di ketahui bahwa sebelum dan sesudah mengalami pengelasan logam memiliki prosentase karbon (C) kadar karbon (C) = 0,224 % dan (C) = 0,223 %, sehingga material ini termasuk dalam golongan baja karbon rendah ($< 0,30\%$ C) , termasuk juga dalam kategori baja *hypoeutectoid* (baja dengan kadar karbon ($< 0,8\%$)).

Penelitian berikutnya yang menjadi rujukan adalah Saifudin dan Ilman (2011), '*Pengaruh Preheat terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik Las Logam Tak Sejenis Baja Tahan Karat Austenitik AISI 304 dan Baja Karbon A36*'. Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan sifat mekanik las melalui pemberian *preheat*. Pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 3 variasi temperatur *preheat* yaitu, 100°C , 200°C dan 300°C . Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan nilai kekerasan bervariasi sesuai metalurgi las, yaitu daerah las, HAZ dan logam induk. *Preheat* menurunkan kekerasan sambungan las disertai dengan peningkatan keuletan las.

C. Kerangka Berpikir

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kegiatan perlakuan panas yang dilakukan sebelum proses penyambungan dua buah logam atau yang biasa disebut dengan proses pengelasan. *Heat Treatment* (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan spesimen pada elektrik *terance* (tungku) pada temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian

didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda (PT PLN Persero Unit Pendidikan dan Pelatihan Peralaya, 2012).

Logam memiliki sifat yang berbeda-beda tergantung pada struktur kimia yang terkandung di dalamnya. Sifat-sifat logam juga dapat terbentuk melalui perlakuan yang diterima oleh logam tersebut, contohnya seperti perlakuan panas (*heat treatment*), contoh lainnya seperti proses pengerjaan logam seperti pemotongan dan penyambungan.

Dalam penelitian ini peneliti mengukur sifat fisis dan mekanis yang terdapat pada logam *stainless steel* 304 yang sebelumnya diberi perlakuan *preheating* sebelum dilakukan proses pengelasan. *Preheating* yang diterapkan sebelum pengelasan *stainless steel* 304 bertujuan untuk menstabilkan suhu spesimen sebelum dilakukan pengelasan agar tidak terjadi kerusakan/cacat pada saat dan setelah pengelasan. Pada setiap jenis logam memiliki suhu yang berbeda-beda yang digunakan untuk suhu *preheating*. Unsur kimia yang terkandung di dalamnya yang mempengaruhi kebutuhan suhu pemanasan awal.

Berdasarkan uraian di atas diharapkan dapat diketahui suhu yang tepat digunakan untuk *preheating* pada pengelasan *stainless steel* 304 dengan meninjau data yang dihasilkan pada tahap penelitian.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah material *stainless steel* 304 dan bahan pengisi/*filler* ER308. Persiapan bahan untuk penelitian diawali dengan membuat melakukan pengujian spesimen, hal tersebut bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada material.

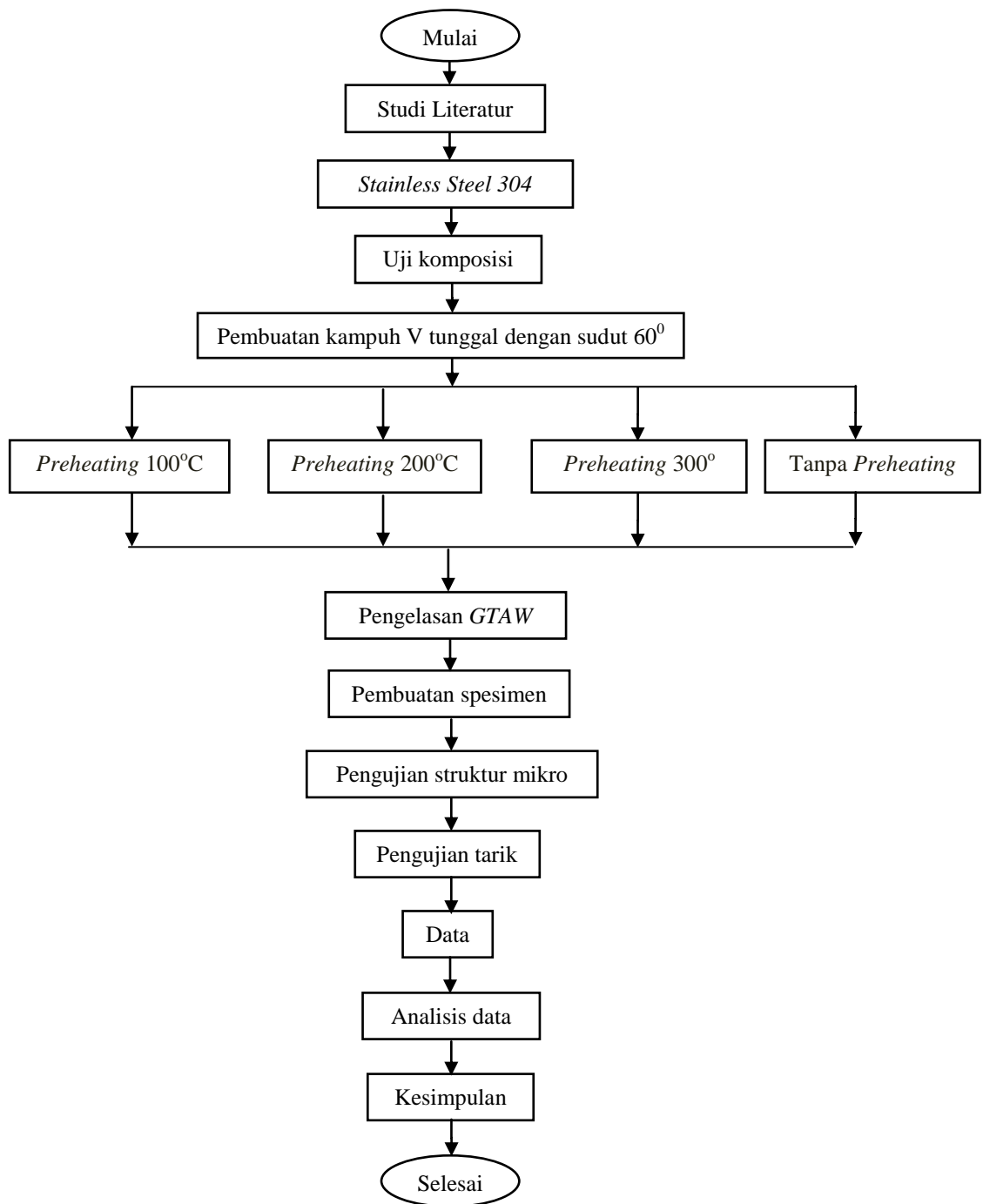
B. Alat

Peralatan-peralatan yang digunakan untuk penelitian harus dipersiapkan sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi yang telah ditentukan. Berikut ini adalah peralatan yang digunakan untuk penelitian.

- | | |
|---|--|
| 1. Mesin las <i>GTAW</i> arus DC
"LORCH" | 9. Mesin frais vertikal dan
perlengkapannya |
| 2. Peralatan pengelasan | 10. Alat uji komposisi
(<i>Spectrometer</i>) |
| 3. Penggaris | 11. Alat foto mikro:
<i>Metallurgical Microscop</i> |
| 4. Jangka sorong | <i>With Inverted</i> "Olympus
PME 3" |
| 5. <i>Bevel</i> (pengukur sudut) | 12. Alat uji tarik: <i>Universal</i>
<i>Testing Machine</i> "Controlab" |
| 6. Kikir | |
| 7. Ampelas | |
| 8. Mesin gergaji dan
perlengkapannya | |

C. Prosedur Penelitian

1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram penelitian

2. Proses Penelitian

a. Tahap Awal Penelitian

- 1) Pembelian bahan penelitian yaitu *Stainless Steel 304* dilakukan pada tanggal 1 Oktober 2014 di Toko Besi “Teknik Jaya” Jakarta Barat.
- 2) Pemotongan bahan dilakukan di bengkel “Haikal Tech” pada tanggal 10 Oktober 2014 Semarang.
- 3) Melaksanakan uji komposisi kandungan bahan dilakukan di PT Itokoh Ceperindo Klaten pada tanggal 17 Oktober 2014.

Uji komposisi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui presentase kandungan unsur-unsur logam yang terkandung pada logam yang akan diuji. Berikut ini langkah-langkah yang dilakukan pada proses uji komposisi.

- a) Menyiapkan benda yang akan diuji. Ukuran benda uji minimal lebar 14 mm dan permukaan harus rata.
- b) Menyiapkan alat uji komposisi kimia *Spectrometer*.
- c) Memasang benda uji pada landasan.
- d) Menghidupkan mesin. Pada tahap ini penyemburan gas berupa gas argon dengan temperatur berkisar antara 4000°C sampai 8000 °C selama kurang dari 30 detik.
- e) Hasil pembakaran berupa cahaya yang berwarna kemudian menuju pusat optik dan dibiaskan sehingga menghasilkan

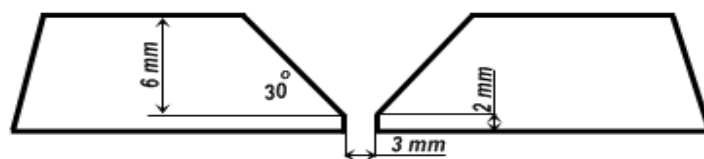
warna unsur yang ditangkap oleh pendeteksi dalam jumlah persen (%).

- f) Hasil pembakaran yang menghasilkan beberapa unsur kimia dan persentasenya dapat dilihat pada layar monitor komputer.
- g) Hasil data pengujian kemudian dicetak dalam selbaran kertas.

b. Proses Pelaksanaan Penelitian

1) Pembuatan kampuh V.

Proses yang pertama dilakukan adalah dengan membuat spesimen dengan kampuh V tunggal. Proses ini dilaksanakan pada 20 Oktober 2014 di bengkel “Haikal Tech”. Pada proses pembuatan kampuh V, mula-mula plat dipotong sebanyak 8 buah plat yang nantinya akan menjadi 4 pasang plat yang akan dilas. Pemotongan plat dilakukan dengan menggunakan mesin gergaji membentuk ukuran panjang 220 mm dan lebar 85 mm. Plat yang sudah dipotong sesuai ukuran, kemudian difrais salah satu sisi plat dengan sudut 30° setebal 6 mm sehingga tersisa 2 mm pada tepi plat.



Gambar 3.2 Kampuh V Tunggal

2) Pengelasan.

Proses pengelasan dilakukan pada 24 Oktober 2014 di Balai Latihan Kerja Industri (BLKI) Semarang. Pada proses pengelasan dilakukan oleh tenaga ahli yang memiliki sertifikasi las sesuai dengan kompetensi yang dibutuhkan, yaitu pengelasan GTAW.

Sebelum proses pengelasan dilakukan, yaitu dilakukan *preheating*. Langkah pertama yaitu mempersiapkan oven logam dan *setting* pada suhu 100°C. Masukkan benda kerja untuk suhu 100°C. Setelah benda kerja di *preheat* lalu benda kerja dilas menggunakan metode *GTAW* dengan mempertahankan suhu *preheat*. Hal serupa dilakukan pada benda kerja untuk suhu 200°C dan 300°C. Pada benda kerja tanpa perlakuan *preheating* maka benda kerja langsung dilas tanpa harus dipanaskan dalam oven terlebih dahulu. Waktu pendinginan dan jarak waktu dari oven selanjutnya dilakukan pengelasan diabaikan atau tidak diberi ketentuan.

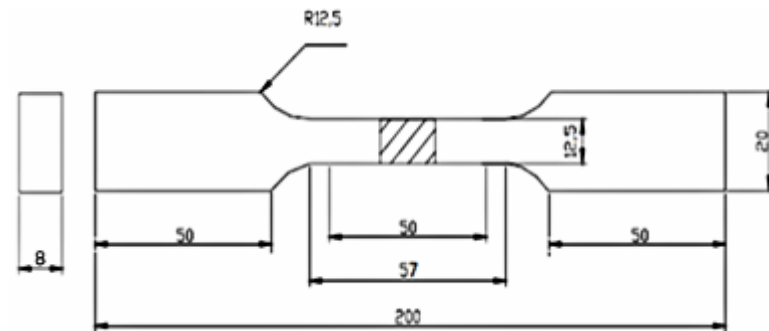
Tabel 3.1 Alat dan Bahan

No.	Kegiatan	Alat	Bahan
1	<i>Preheating</i>	Oven Tang	<i>Stainless Steel</i> 304
2	Pengelasan	Mesin Las <i>GTAW</i> 'Lorch' Tang Meja Las Tabung Gas Pelindung	<i>Stainless Steel</i> 304 Kawat Elektroda ER308

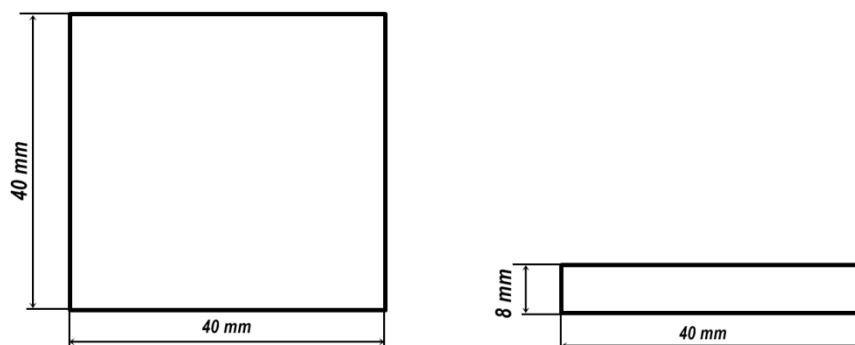
c. Proses Pengujian

1) Pembuatan spesimen uji

Pembuatan spesimen uji dilaksanakan pada 3 November 2014, peneliti membuat dua jenis spesimen, yaitu spesimen uji tarik dan spesimen untuk foto mikro. Pembuatan spesimen uji tarik menggunakan standar ASTM E8/E8M-09, sedangkan spesimen untuk foto mikro ukuran spesimennya 40 x 40 mm.



Gambar 3.3 Gambar Spesimen Uji Tarik



Gambar 3.4 Spesimen Foto Mikro

2) Foto Mikro.

Pengujian pertama yaitu uji fisis/pengamatan struktur mikro. Pengujian foto mikro dilakukan pada 12 Desember 2014 di Lab Bahan D3 Teknik Mesin UGM. Alat yang digunakan untuk uji foto mikro menggunakan *Metallurgical Microscop With Inverted* (Olympus PME 3). Sebelum dilakukan pengujian, spesimen harus dibersihkan terlebih dahulu menggunakan autosol agar bersih dan mengkilat, proses ini disebut pengetsaat. Setelah dibersihkan kemudian dimasukkan dalam cairan *etsa* dengan menggunakan larutan HNO_3 dengan cara dicelupkan kemudian dibilas dengan alkohol atau air secukupnya yaitu 2,5 ml dari 100% HNO_3 dicampur 97,5 ml larutan air sampai terlihat daerah lasannya, daerah batas las dengan HAZ, daerah HAZ dan daerah batas HAZ dengan logam induk. Setelah proses *etsa* selesai spesimen dibilas dengan alkohol dan air biasa. Spesimen dikeringkan, setelah kering spesimen siap difoto stuktur mikro.



Gambar 3.3 Alat Uji Foto Mikro

Keterangan :

- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| 1. Landasan mikroskop optik | 5. CPU |
| 2. Lengan pengatur kedudukan | 6. Lensa pengatur skala perbesaran |
| 3. Lensa untuk pengamatan | 7. Layar monitor |
| 4. Tuas pengatur perbesaran | 8. Mouse |

Langkah-langkah untuk melakukan proses pengamatan struktur mikro adalah sebagai berikut:

- a) Spesimen diletakan pada landasan mikroskop optik lalu mesin diaktifkan, dekatkan lensa pembesar untuk melihat permukaan spesimen. Foto struktur mikro dengan perbesaran 200x pada skala pembesaran 50 mikron.
- b) Sebelum pengambilan gambar, film dipasang pada kamera yang telah disetel sedemikian rupa dengan menggunakan film asa 200. Usahakan pada saat pengambilan foto tidak ada hal apapun yang membuat

mikroskop optik bergerak, sehingga gambar dapat terekam secara sempurna.

- c) Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada logam las, logam induk dan *HAZ*, yang diakibatkan oleh proses *preheating* sebelum pengelasan.

3) Uji Tarik.

Tahap pengujian selanjutnya yaitu pengujian tarik, proses uji tarik dilaksanakan pada 18 Desember 2014 di Lab Bahan D3 Teknik Mesin UGM. Uji tarik dilakukan menggunakan alat uji tarik *Universal Testing Machine* “Controlab”.



Gambar 3.4. Alat uji tarik *Universal Testing Machine* “Controlab”

Keterangan:

- | | |
|------------------|------------------------|
| 1. Batang pompa | 5. Meja <i>plotter</i> |
| 2. Unit pompa | 6. Ragum bawah |
| 3. Dudukan ragum | 7. CPU |
| 4. Ragum atas | |

Langkah-langkah untuk pengujian tarik sebagai berikut.

- a) Siapkan mesin uji tarik dan peralatan yang dibutuhkan, setelah itu spesimen dijepit pada ragum uji tarik, yang telah diketahui penampangnya, panjang awal dan ketebalan.
- b) Menyiapkan kertas milimeter blok dan meletakkan kertas pada meja *plotter*.
- c) Mengatur posisi 0 sebagai titik acuan awal dari gaya atau pembebanan.
- d) Memberikan gaya atau pembebanan pada spesimen uji dengan menambahkan sedikit demi sedikit gaya atau beban dari tenaga pompa hingga spesimen uji putus dan berada pada gaya atau beban yang maksimal.
- e) Gaya atau beban yang maksimal ditandai dengan putusnya benda uji terdapat pada layar digital dan dicatat sebagai data.
- f) Hasil diagram terdapat pada kertas milimeter blok yang ada pada meja *plotter*.
- g) Menghitung besarnya tegangan tarik, tegangan luluh, dan regangan dari data yang telah didapatkan dengan

menggunakan rumus sesuai persamaan yang telah ada.

Data yang keluar dari hasil pengujian yang telah dilakukan kemudian dianalisis. Data dari pengujian struktur mikro dianalisis dan dideskripsikan sesuai gambar yang keluar dari hasil pengujian. Data uji tarik keluar sesuai hasil pengujian tarik yang dilakukan oleh masing-masing spesimen, untuk selanjutnya diambil nilai rata-rata, karena setiap variable terdapat 3 spesimen. Data yang telah diolah dan dianalisis kemudian disajikan dalam bentuk grafik dan tabel.

D. Teknik Pengumpulan Data

a. Dokumentasi

Dokumen merupakan catatan peristiwa yang sudah berlalu. Dokumen bisa berbentuk tulisan, gambar, atau karya-karya monumental dari seseorang. Peneliti mencatat hal-hal terpenting dalam setiap tahap penelitian dan mendokumentasikan dalam bentuk gambar dari setiap obyek yang diteliti.

b. Uji Laboratorium

Data uji tarik dan struktur mikro dilakukan pengujian di laboratorium bahan Diploma Teknik Mesin, Universitas Gajah Mada. Data yang diperoleh dari hasil pengujian kemudian dianalisis dimasukkan ke dalam tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafik, kemudian disimpulkan hasilnya.

E. Analisis Data

Analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode analisis statistik deskriptif data mentah yang diperoleh dari pengujian. Menurut Sugiyono (2012: 147), Statistik deskriptif adalah statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan data atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, terdapat dua jenis data yang diperoleh. Data berupa gambar yang diperoleh dari pengujian foto mikro. Gambar yang muncul kemudian dideskripsikan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan. Data yang kedua adalah berupa angka atau bilangan yang kemudian dimasukkan kedalam tabel untuk selanjutnya dihitung nilai rata-rata dari data tersebut dan disajikan dalam bentuk grafik. Sama halnya pada gambar hasil foto mikro, data tersebut dianalisa dan kemudian dideskripsikan. Hasil akhir pada analisis deskripsi hasil pengujian laboratorium adalah dengan menyusun kesimpulan.

Pada foto mikro mendeskripsikan struktur yang tersusun didalamnya dengan acuan foto mikro yang didapatkan pada *Metals Handbook Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*. Data uji tarik didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan rumus tegangan maksimal, tegangan luluh dan regangan.

Rumus yang digunakan untuk menghitung analisis data kekuatan tarik adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan Tegangan Maksimal (σ_u)

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A_0}$$

Dimana: σ_u = Tegangan *ultimate* (MPa)

P_u = Beban (kg)

A_0 = Luas penampang mula-mula (mm^2)

2. Perhitungan Regangan (ϵ)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana: ϵ = *Elongation* (%)

L_f = Panjang spesimen setelah diuji tarik (mm)

L_0 = Panjang spesimen sebelum diuji tarik (mm)

3. Perhitungan Tegangan Luluh (σ_y)

$$1 \text{ mm} = \frac{P_u \%}{hU}$$

$$P_y = \frac{h_Y \times 1 \text{ mm}}{100} \times P$$

$$\sigma_y = \frac{P_y}{A_0}$$

Dimana: P = Beban yang digunakan (kg)

P_y = Beban *yield* (kg)

P_u = Beban *ultimate* (kg)

A_0 = Luas penampang mula-mula (mm^2)

hU = tinggi *ultimate* (mm)

hY = tinggi *yield* (mm)

σ_y = Tegangan *yield* (MPa)

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Uji Komposisi

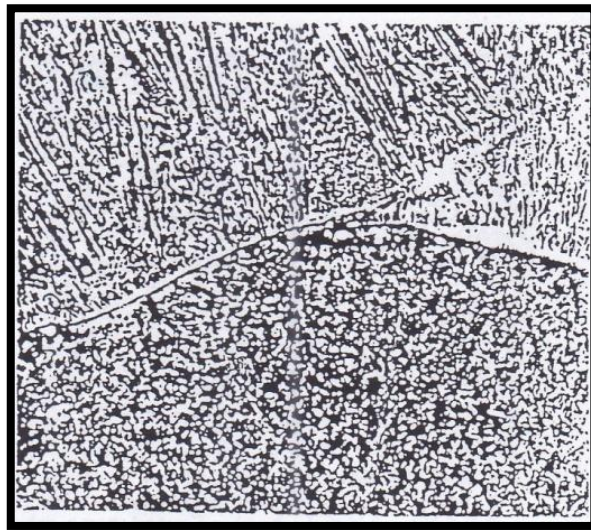
Uji komposisi dilakukan untuk mengetahui presentase unsure kimia yang terkandung pada bahan *Stainless Steel* 304. Hasil uji komposisi yang dilakukan di laboratorium PT. Itokoh Ceperindo disajikan dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 4.1. Hasil Uji Komposisi *Stainless Steel* 304

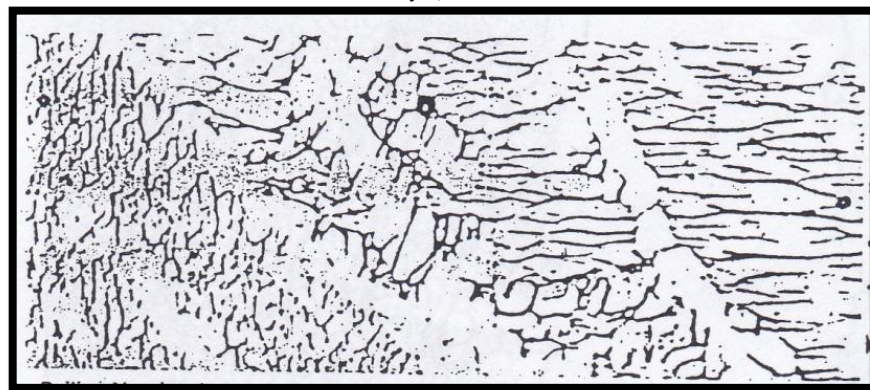
No.	Unsur	Persentase (%)
1	Fe	70,7626
2	S	0,009
3	Al	0,0063
4	C	0,0528
5	Ni	7,7284
6	Nb	0,0394
7	Si	0,3229
8	Cr	18,1570
9	V	0,091
10	Mn	1,6729
11	Mo	0,3891
12	W	0,0364
13	P	0,0322
14	Cu	0,3950
15	Ti	0,0010
20	N	0,0706
21	B	0,0005
22	Pb	0,013
23	Sb	0,0191
24	Ca	0,0004
25	Mg	0,0103
26	Zn	-0,037
27	Co	0,1524

2. Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro yang dilakukan di Laboratorium Metalurgi DIII Teknik Mesin UGM bertujuan untuk mengetahui struktur mikro yang terkandung pada HAZ, logam induk dan daerah lasan.



Gambar 4.1 Struktur *Ferrite* dan *Pearlite* pada *Stainless Steel 304* pembesaran 75x (*Metals Handbook 8th Edition Vol.7 Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*)



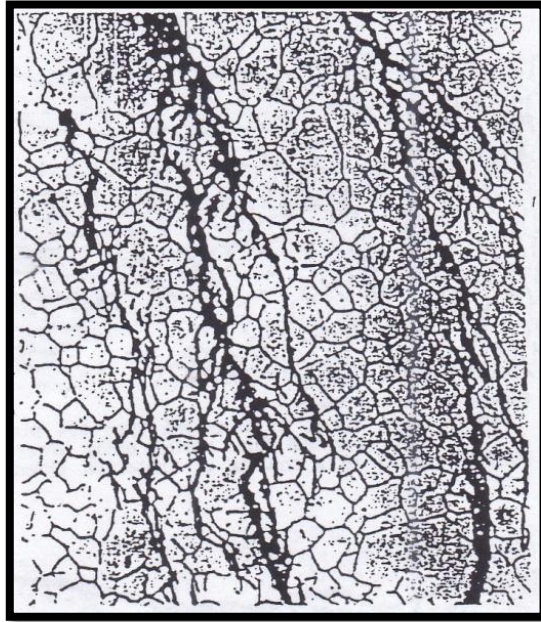
Gambar 4.2 Fase Austenit yang terdiri dari struktur *Ferrite* pembesaran 500x (*Metals Handbook 8th Edition Vol.7 Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*)

Pada Gambar 4.1 terdapat struktur *ferrite* dan *pearlite* pada *stainless steel* 304. Struktur *ferrite* pada bagian yang gelap dan *pearlite* pada bagian yang cerah. Struktur *ferrite* terbentuk akibat konsentrasi karbon dan panas yang tinggi pada HAZ akan mendorong difusinya karbon dari HAZ ke sisi *stainless steel* dan membentuk Cr Carbida pada HAZ.

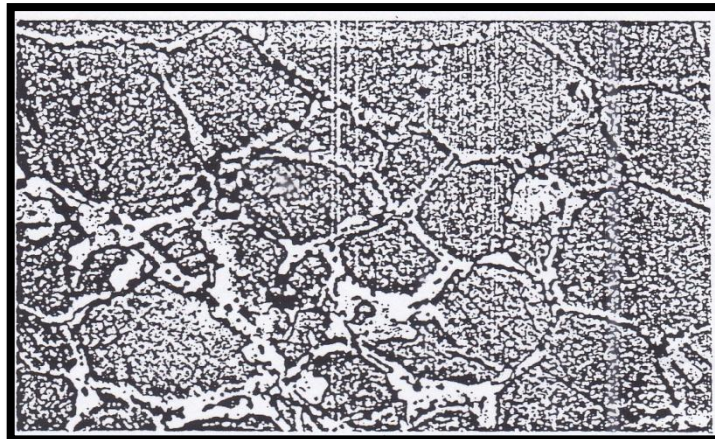
Dikutip dari forum diskusi pada situs migas-indonesia.com, bahwa proses pembentukan *ferrite* mencakup hal berikut :

- a. *Driving force process* difusi adalah panas (*Heat input* dari proses pengelasan) dan perbedaan konsentrasi (% wt atom).
- b. *Heat input* dari proses pengelasan mengakibatkan Cr mengalami difusi.
- c. Daerah yang kaya Cr bertransformasi dari austenite ke *ferrite* karena Cr adalah penyetabil *ferrite*.

Pearlite terbentuk diawali dengan tumbuhnya inti sementit pada batas butir austenit. Sementit tumbuh dengan kadar karbon 6.67% diperlukan sejumlah karbon yang diperoleh dari austenit disekitarnya, yang mengeluarkan karbon untuk dapat menjadi *Ferrite*. Karbon akan menyebar ke sekeliling dan membentuk lapisan-lapisan. Proses ini berlangsung terus menerus sehingga akan diperoleh struktur yang berlapis-lapis (*lamellar*) yang terdiri dari *ferrite* dan sementit yang disebut *pearlite*.



Gambar 4.3 Fase Austenit yang terdiri dari *Grain boundaries* pembesaran 200x
(*Metals Handbook 8th Edition Vol.7 Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*)



Gambar 4.4 Fase Austenit yang terdiri dari *Grain boundaries* pembesaran 1000x
(*Metals Handbook 8th Edition Vol.7 Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*)



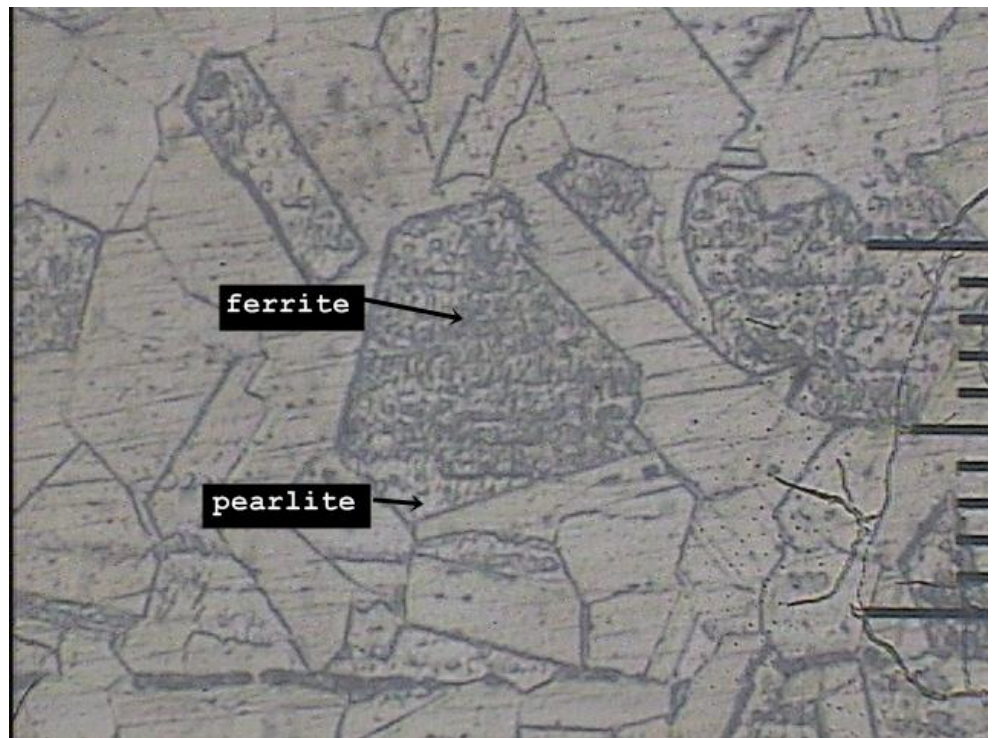
Gambar 4.5 Fase Austenit yang terdiri dari *Grain boundaries* (*Metals Handbook 8th Edition Vol.7 Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*)

Berikut ini hasil foto mikro yang dilakukan dengan pembesaran 500x memperoleh 3 jenis data pada setiap spesimennya, yaitu logam induk, *HAZ* dan logam las.

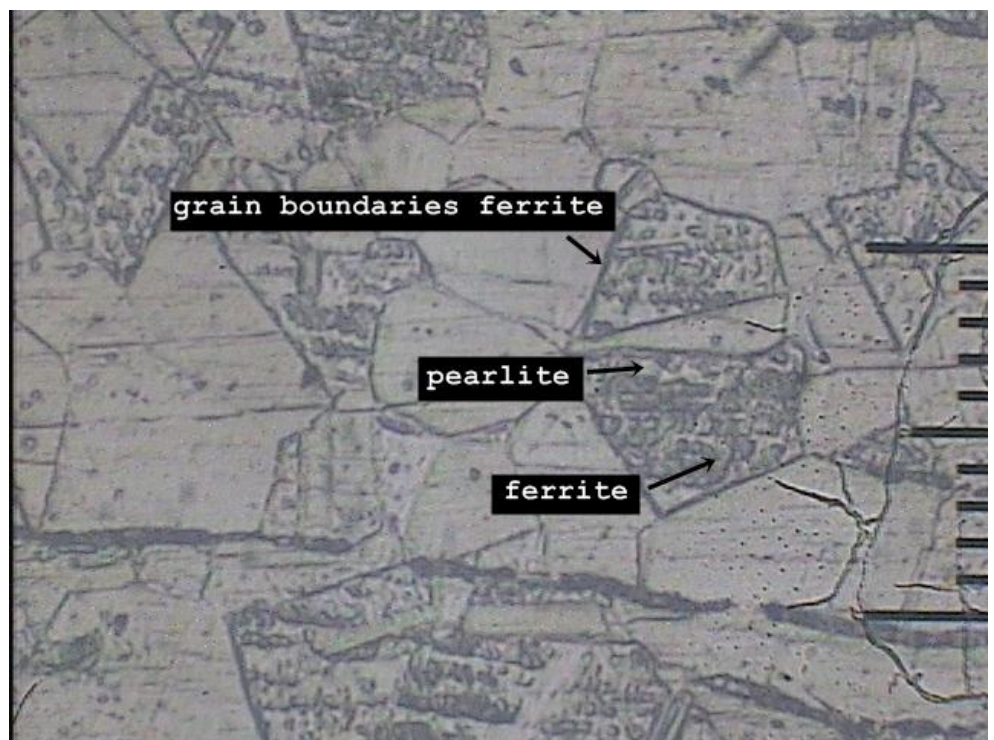
a. Logam Induk (pembesaran 200x)



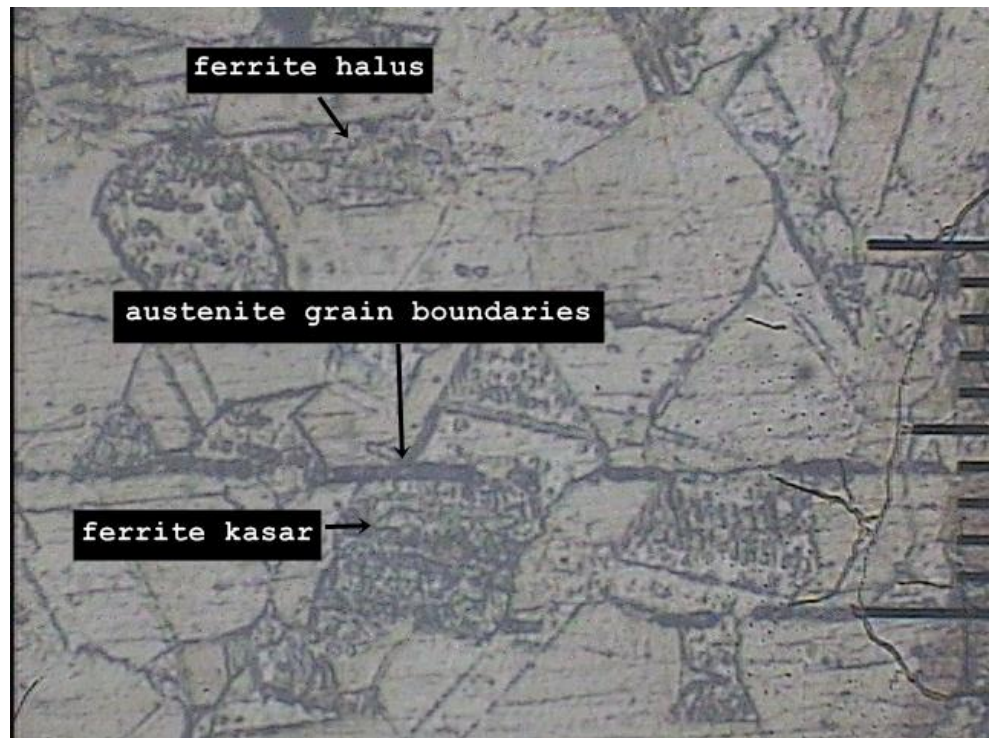
Gambar 4.6 Foto Mikro Logam Induk tanpa *preheating*



Gambar 4.7 Foto Mikro Logam Induk *preheating* 100°C



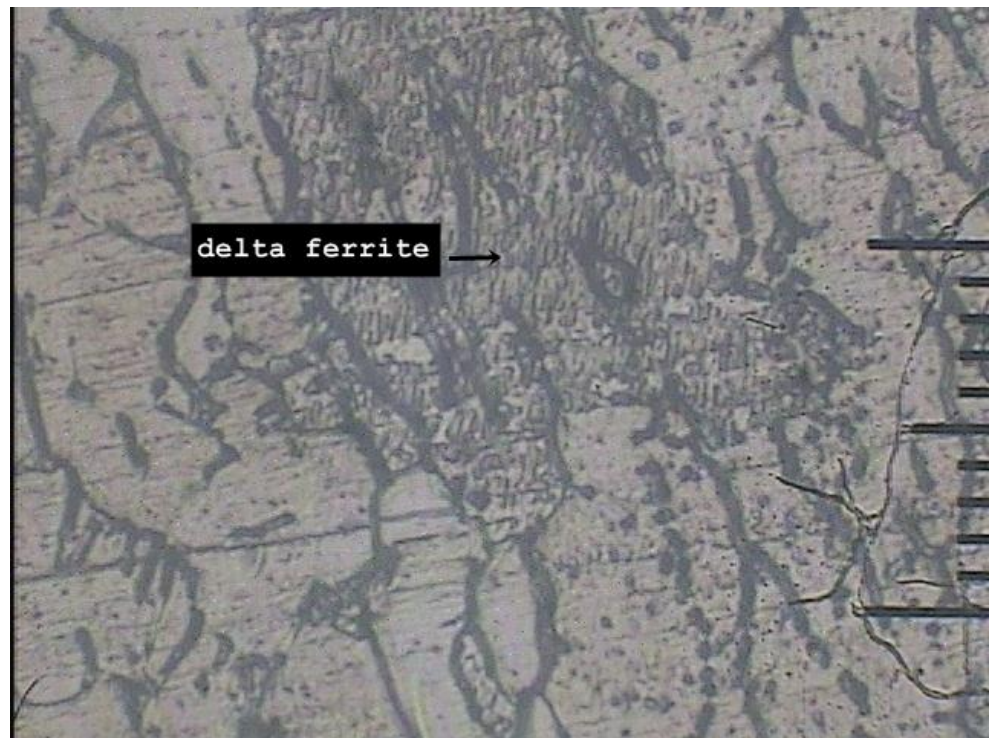
Gambar 4.8 Foto Mikro Logam Induk *preheating* 200°C

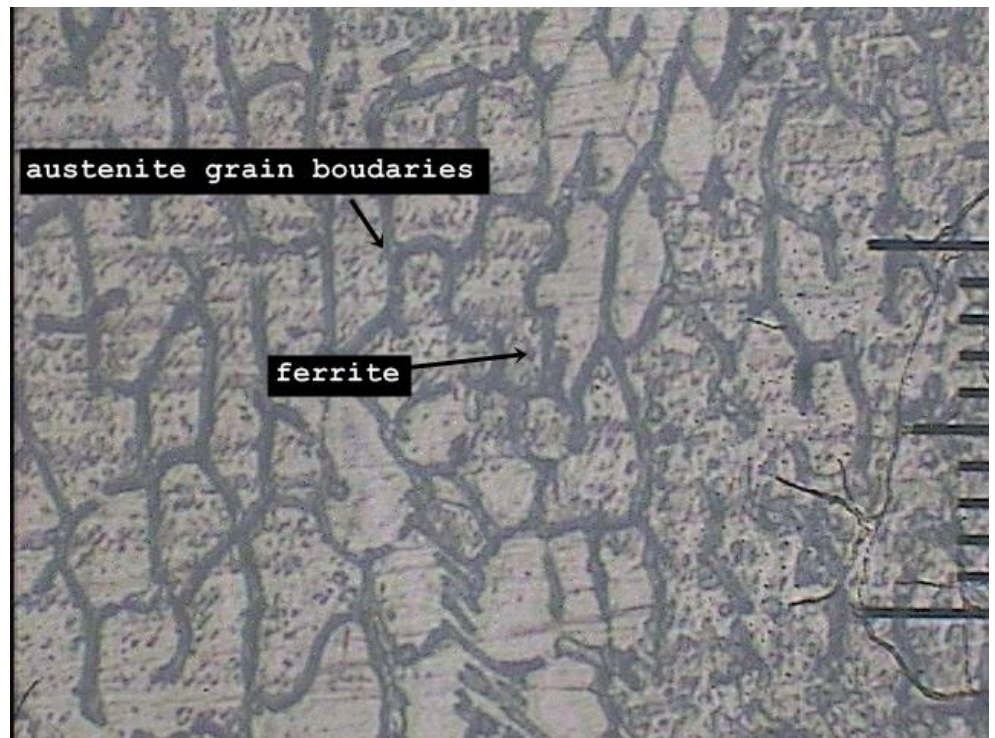


Gambar 4.9 Foto Mikro Logam Induk *preheating* 300°C

Pada struktur mikro logam induk tampak jelas terdiri dari *ferrite*, *pearlite* dan *grain boundaries ferrite*. Perbedaan pada setiap spesimen adalah susunan *ferrite* yang terdapat di dalamnya. Pada Gambar 4.6 tersusun oleh struktur *ferrite* halus dan *grain boundaries ferrite*. Struktur mikro logam induk pada Gambar 4.6 - 4.7 - 4.8 susunan *ferrite* yang terbentuk lebih kasar dan pekat. Gambar 4.9 menunjukkan struktur *ferrite*, *ferrite* halus dan *austenite grain boundaries*.

b. Logam Las

Gambar 4.10 Foto Mikro Logam Las tanpa *preheating*Gambar 4.11 Foto Mikro Logam Las *preheating* 100°C



Gambar 4.12 Foto Mikro Logam Las *preheating* 200°C



Gambar 4.13 Foto Mikro Logam Las *preheating* 300°C

Foto mikro logam las pada Gambar 4.10-4.12-4.13 tersusun oleh *dendritic* dengan didominasi oleh *delta ferrite* pada *austenite matrix*. Pada Gambar 4.12 susunan *austenite grain boundaries* lebih rapat-rapat yang diisi oleh struktur *ferrite*. Gambar 4.11 menunjukkan struktur *widmanstatten ferrite* yang berbentuk garis-garis tidak beraturan. Gambar 4.13 menunjukkan adanya pengaruh panas yang tinggi yang mengakibatkan terjadinya sensitasi yang mengakibatkan daerah berwarna kecoklatan. *Ferrite* yang ditandai oleh garis-garis yang tebal menandakan semakin tinggi nilai kekerasan namun bahan semakin getas.

c. HAZ



Gambar 4.14 Foto Mikro HAZ tanpa *preheating*



Gambar 4.15 Foto Mikro *HAZ preheating 100°C*



Gambar 4.16 Foto Mikro *HAZ preheating 200°C*



Gambar 4.17 Foto Mikro *HAZ preheating 300°C*

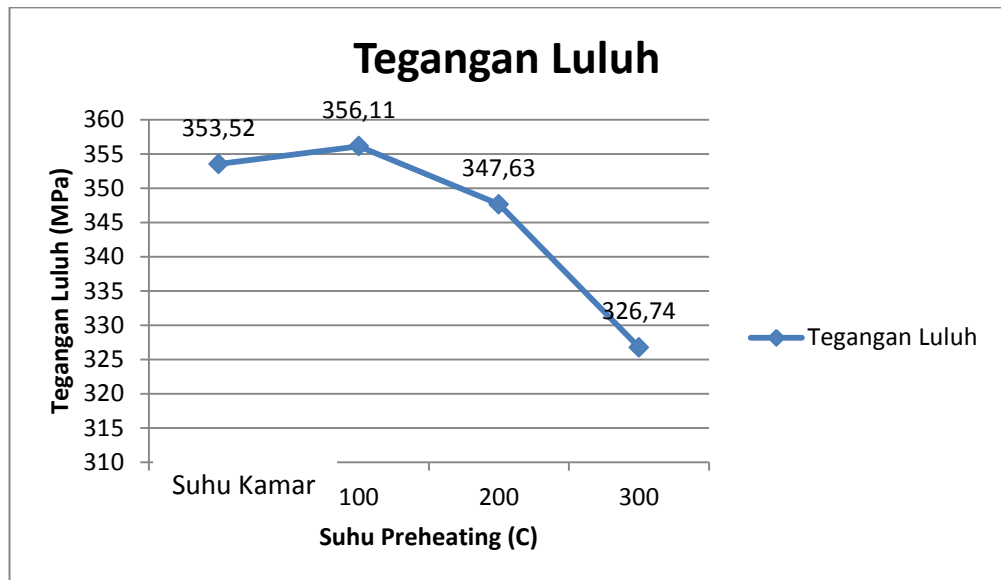
Gambar 4.14-4.15-4.16-4.17 adalah hasil foto mikro *HAZ*. Pada Gambar 4.14-4.15-4.16-4.17 terdapat struktur mikro yang hampir sama yaitu *Austenit grains* dan *ferrite*. Perbedaannya adalah pada Gambar 4.17 terlihat pada susunan *ferrite* yang lebih kasar dengan *austenite grains* yang diakibatkan oleh sensitasi yang bersumber dari *heat input* yang terjadi pada saat proses pengelasan. Sensitasi adalah sebuah fenomena yang terjadi dalam *stainless steel* yaitu ketika *stainless steel* mencapai suhu 900 - 1400 °F (482 - 760 °C) terbentuk chromium carbides Cr_{23}C_6 sepanjang butiran austenit. Hal ini terjadi karena hilangnya chromium (Cr) dari butiran *austenitic* sehingga menurunkan ketahanan korosi dari lapisan pasif, sehingga

terjadi pengendapan krom karbida sepanjang batas butir *Stainless Steel*. (*protective passive film*). Kejadian ini disebut sensitisasi (*sensitization*) atau disebut juga kerusakan las (*weld decay*) karena biasanya terjadi selama proses pengelasan disekitar HAZ ketika dipanaskan. Oleh karena itu, dampak terbentuknya ada Gambar 4.17 terlihat corak kecoklatan pada sekitar *austenite grains*.

3. Hasil Uji Tarik

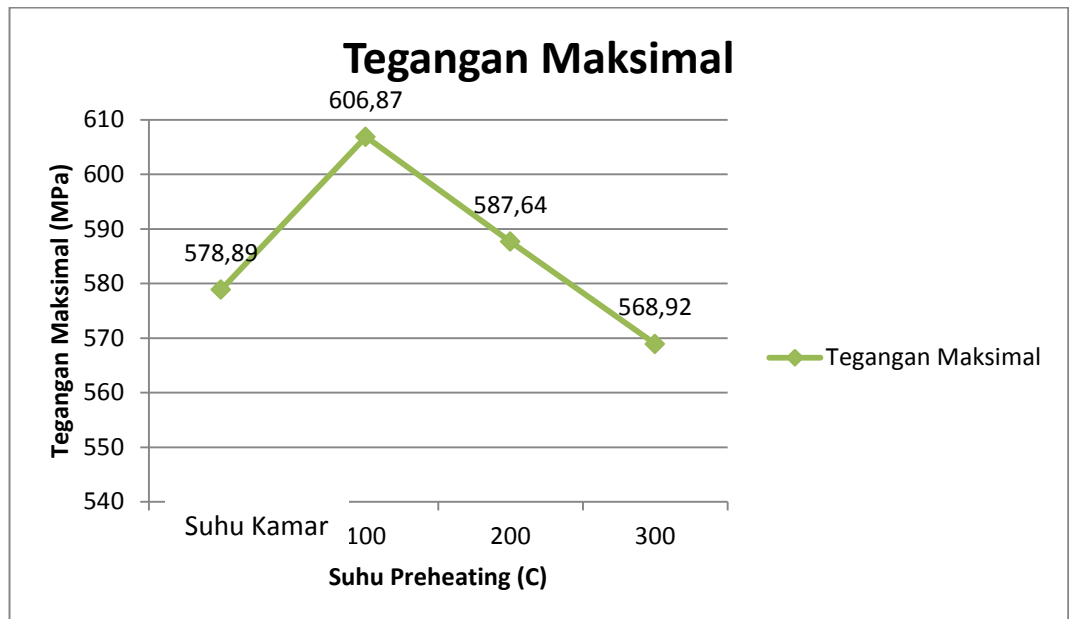
Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Salah satu cara untuk mengetahui besaran sifat mekanik dari logam adalah dengan uji tarik. Sifat mekanik yang dapat diketahui adalah kekuatan dan elastisitas dari logam tersebut. Pelaksanaan uji tarik dilakukan di Laboratorium Metalurgi DIII Teknik Mesin UGM dengan menggunakan alat uji *Universal Testing Machine* “Controlab”.

Data yang diperoleh dari hasil uji tarik disajikan berupa grafik kemudian dideskripsikan dan diambil kesimpulannya, berikut data hasil uji tarik :



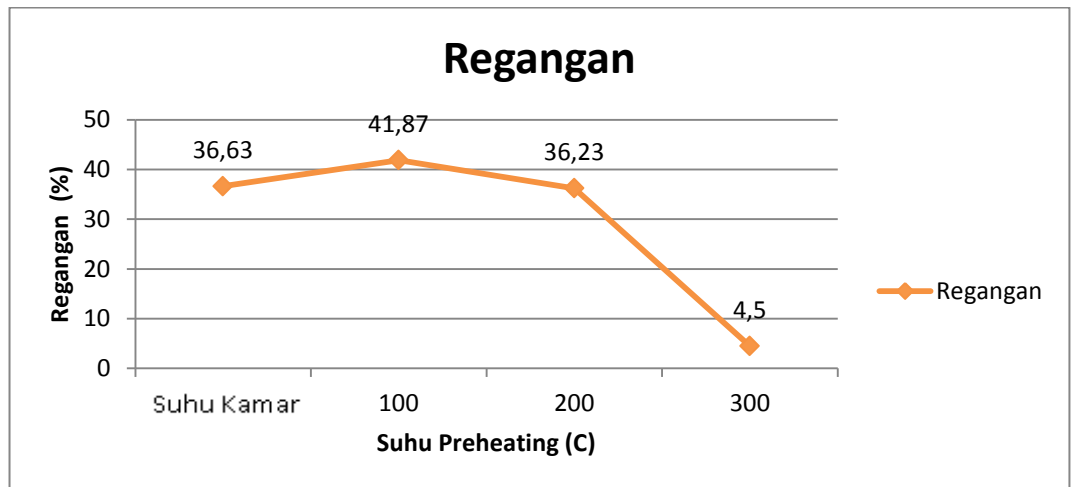
Gambar 4.4 Grafik Tegangan Luluh

Gambar 4.4 menunjukkan nilai tegangan luluh pada suhu kamar, 100°C dan 200°C mempunyai selisih yang tidak terlalu signifikan, yaitu pada suhu kamar memiliki nilai 353.52 MPa, suhu 100°C memiliki nilai 36.11 MPa dan pada suhu 200°C memiliki nilai 347.63 MPa. Nilai tegangan luluh pada suhu tertinggi, yaitu suhu 300°C memiliki perbedaan nilai yang cukup signifikan, yaitu 346.74 MPa.



Gambar 4.5 Grafik Tegangan Maksimal

Berdasarkan grafik di atas nilai tegangan maksimal tertinggi pada suhu 100°C yaitu dengan nilai 606.87 MPa sedangkan nilai tegangan maksimal terendah yaitu pada suhu 300°C yaitu 568.92 MPa. Nilai tegangan maksimal pada suhu suhu kamar dan 200°C hanya selisih 8.75, yaitu 578.89 MPa pada suhu suhu kamar dan 587.64°C.



Gambar 4.6 Grafik Regangan

Berdasarkan grafik di atas yang mendapatkan nilai regangan paling tinggi adalah spesimen dengan suhu *preheating* 100°C, yaitu 41.87 %, sedangkan spesimen tanpa perlakuan *preheating* memiliki nilai regangan 36.63 %, hal tersebut berarti mengalami kenaikan nilai regangan 5.25 %. Sebaliknya, pada suhu *preheating* 200°C nilai regangan yang dimiliki adalah 36.26 % menurun sekitar 5.61 % dari nilai tertinggi dan pada suhu 300°C nilai regangan menjadi 4.5 % mendapat penurunan drastis sekitar 37.37 %.

B. Pembahasan

Selama proses pengelasan, siklus thermal terjadi pada daerah logam las dan HAZ diantaranya yaitu pemanasan hingga mencapai suhu tertentu yang kemudian diikuti dengan pendinginan. Hal tersebut mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik logam las dan HAZ, sehingga logam las akan mengalami transformasi fasa.

Menurut Widharto (2013:458), siklus *thermal* yakni pencairan kemudian pembekuan. Kondisi ini menyebabkan perubahan struktur

mikro dari logam yang bersangkutan, sedangkan perubahan ukuran butir dan struktur yang terbentuk pada struktur mikro mengakibatkan nilai kekerasan yang berbeda.

Berikut ini pembahasan mengenai perubahan struktur mikro dan sifat mekanik logam yang terjadi akibat adanya perbedaan suhu *preheating* dengan membandingkan pengelasan tanpa perlakuan *preheating* :

1. Pengelasan tanpa *preheating*

Pada pengelasan tanpa *preheating* diketahui struktur mikro pada HAZ dan logam induk memiliki kesamaan yaitu terdiri dari *austenite grain boundaries* dan *ferrite* halus yang tersusun di dalamnya. Pada struktur logam las sangat berbeda yaitu terdapat susunan *ferrite widmanstatten*, *ferrite* kasar dan *grain boundary ferrite*. Pada data uji tarik nilai tegangan luluh pada pengelasan tanpa perlakuan *preheating* adalah 353.52 MPa, nilai tegangan maksimal 578.89 MPa dan presentase nilai regangan adalah 36.63 %.

2. Pengelasan dengan *preheating* 100°C

Struktur mikro HAZ dan logam induk tidak ada perbedaan yang signifikan, namun pada logam induk terlihat *ferrite* lebih kasar dari struktur mikro logam induk pada pengelasan tanpa *preheating*. Struktur mikro logam las pada *preheating* 100°C ini terlihat memiliki struktur yang lebih kasar. Dapat dilihat dari struktur yang tersusun di dalamnya, yaitu *acicular ferrite* dan *ferrite widmanstatten*.

Nilai tegangan luluh yang dihasilkan memiliki peningkatan dari pengelasan tanpa *preheating* yaitu menjadi 356.11 MPa, artinya nilai tegangan luluh meningkat hingga 0.07 %. Seperti halnya tegangan luluh, pada tegangan maksimal dan regangan, pengelasan dengan perlakuan *preheating* 100°C mengalami peningkatan menjadi 606.87 MPa untuk nilai tegangan maksimal, meningkat 4.83 % dan 41.87 % untuk nilai presentase regangan.

3. Pengelasan dengan *preheating* 200°C

Pada struktur mikro HAZ dan logam induk terdapat struktur mikro *ferrite*, *pearlite*. *Ferrite* terlihat lebih kasar dan merata dibandingkan dengan pengelasan tanpa *preheating* dan butir *pearlite* tampak lebih kasar dan letaknya lebih rapat-rapat pada logam induk. Struktur mikro pada logam las memiliki perbedaan yang signifikan. Pada logam las terdapat *widmanstanten ferrite*, *acicular ferrite* dan *grain boundary ferrite*. Bentuk yang ditimbulkan oleh butir-butir *acicular ferrite* tampak lebih tebal dan membentuk garis-garis tegas, serta *grain boundary ferrite* yang lebih mendominasi.

Nilai tegangan luluh yang dihasilkan pada pengelasan dengan suhu *preheating* 200°C adalah 347.63 MPa, hal ini mengalami penurunan sekitar 1.2%. Namun pada nilai tegangan maksimal mengalami sedikit peningkatan yaitu dari 578.89 MPa menjadi 587.64 MPa. Pada nilai regangan presentasenya menjadi 36.3 %.

Disimpulkan bahwa pada suhu 200°C perubahan sifat mekanis bahan tidak terlalu signifikan dari pengelasan tanpa perlakuan *preheating*.

4. Pengelasan dengan *preheating* 300°C

Pada struktur mikro bahan dengan perlakuan *preheating* 300°C mendapat efek yang tidak terlalu baik pada hasil pengelasan. Terlihat jelas pada struktur mikro HAZ, logam induk dan logam las, terdapat bagian yang berwarna kecoklatan itu menandakan terjadinya *thermal shock*, yaitu keadaan dimana panas yang masuk akibat *preheating* sehingga struktur mikro dari bahan tersebut berubah dan ditambah panas akibat proses pengelasan mengakibatkan benda menjadi terlalu keras. Hal tersebut mengakibatkan proses pengelasan menjadi sulit dilakukan dan dikhawatirkan timbul retakan pada bagian las.

Pada pengujian mekanik hasil pengujiannya memiliki perbedaan yang sangat signifikan. Pada tegangan luluh memiliki nilai 326.74 MPa, mengalami penurunan yang sangat signifikan yaitu sekitar 7.57 % dari pengelasan tanpa *preheating*. Penurunan yang sangat drastis juga terjadi pada presentase regangan yaitu menjadi 4.5 % dari 36.63 %. Penurunan presentase regangan sekitar 87.71 %. Namun pada tegangan maksimal yang mendapatkan nilai 568.92 MPa, penurunannya hanya berkisar 1.72 %.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan :

1. Berdasarkan hasil analisis struktur mikro *stainless steel* 304 setelah dilakukan variasi *preheating* pada pengelasan *GTAW* disimpulkan bahwa; Variasi temperatur *preheating* mempengaruhi struktur mikro pada logam las; Struktur *ferrite* yang semakin kasar menandakan tingkat kekerasan pada logam las, namun bahan akan semakin getas. Tingkat kekasaran *ferrite* dipengaruhi oleh suhu yang diterima pada saat proses pengelasan; Struktur mikro pada logam las seperti *ferrite widmanstatten*, *ferrite acicular* dan *ferrite* batas butir (*grain boundary ferrite*); Perbedaan yang signifikan dipengaruhi suhu *preheating*, semakin tinggi suhu *preheating* maka letak butir-butir *ferrite* semakin besar; Hal tersebut mengakibatkan tingkat kekerasan yang tinggi pada logam las dan *HAZ*; Pengamatan mikro memberikan validasi bahwa daerah korona yang terbentuk disekitar logam las adalah karbida krom. Semakin kontras warna dan semakin lebar korona akan semakin banyak kromium dan karbon yang membentuk karbida, yang berarti akan semakin sensitif terhadap korosi batas butir.

2. Berdasarkan hasil analisis kekuatan tarik *stainless steel* 304 setelah dilakukan variasi *preheating* pada pengelasan *GTAW* disimpulkan bahwa; Berdasarkan nilai yang diperoleh dari uji tarik, nilai tegangan tertinggi rata-rata yaitu untuk pengelasan dengan temperatur *preheating* 100°C yaitu 606.87 MPa. Nilai tegangan terendah rata-rata yaitu untuk pengelasan dengan temperatur 300°C, 568.92 MPa. Maka suhu yang ideal untuk *preheating* pada pengelasan *GTAW* untuk *stainless steel* 304 adalah 100°C.

B. Saran

1. Pengelasan *GTAW* pada *stainless steel* 304 perlu dilakukan *preheating* dengan suhu 100°C.
2. Perlu ditambahkan inspeksi pada hasil pengelasan untuk mengetahui hasil las sudah sesuai dengan spesifikasi, karena cacat las yang terjadi akibat kesalahan pada proses pengelasan akan mempengaruhi data dari proses pengujian.
3. Penelitian lebih lanjut perlu ditambahkan pengujian korosifitas agar diketahui tingkat korosif yang ditimbulkan dari hasil pengelasan dengan variasi suhu *preheating*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah. 2011. Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik pada Pengelasan Drum Baja Karbon Wadah Limbah Radioaktif. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*. Volume 14, Nomor 2: 14-30.
- ASTM. 2012. *Annual Book of ASTM Standards*. Volume 3. West Conshohocken: American Society for Testing and Material.
- Alip, M. 1989. *Teori dan Praktek Las*. Yogyakarta: IKIP Yogyakarta.
- Mehl, Robert F. *Metals Handbook 8th Edition Atlas Of Microstructures of Of Industrial Alloys*. Volume 7. Ohio: American Society For Metal.
- PT PLN. *Perlakuan Panas (PWHT)*. Suralaya: Jasa Diklat Unit Pendidikan Dan Pelatihan.
- Saifudin dan Mochammad Noer Ilman. 2011. Pengaruh *Preheat* terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik Las Logam Tak Sejenis Baja Tahan Karat Austeniti AISI 304 dan Baja Karbon A36. *Artikel Ilmiah*. Hlm. 1-5.
- Sonawan, H dan Rochim Suratman. 2006. *Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*. Bandung: Alfabeta.
- Sriwidharto. 1996. *Petunjuk Kerja Las*. Jakarta: Pradnya Paramita
- Sudibyoy, A dan Pramuko Ilmu Purboputro. 2013. Pengaruh Pengelasan *Gas Tungsten Arch Welding (GTAW)* dengan Variasi Pendingin Air dan Udara pada *Stainless Steel 304* terhadap Uji Komposisi Kimia, Struktur Mikro, Kekerasan dan Uji *Impact*. *Simposium Nasional RAPI XII*. Hlm. M41-M48.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif Dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suheni dan Syamsuri. 2007. Pengaruh Perubahan Arus Las TIG terhadap Kekuatan Impak pada Material yang Berbeda. *SAINTEK Volume 11*. No. 1. Hlm. 79-90.

- Suparjo dan Purnomo. 2012. Variasi Temperatur Pemanasan pada Proses Perlakuan Panas terhadap Kekerasan dengan Material SS – 304L. *Jurnal IPTEK Volume 16*. No. 2. Hlm. 170-178.
- Widharto, S. 2013. *Welding Inspection*. Jakarta: Mitra Wacana Media.
- Wiryosumarto, H. dan T. Okumura. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.

LAMPIRAN – LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Uji Tarik

Spes.	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Ao (mm ²)	Lo (mm ⁴)	Lf (mm)	ΔL (mm)	P _{Max} (kN)	hY (mmb)	hU (mmb)	ϵ (%)
1	12.29	7.95	97.70	49.04	61.47	12.70	54.09	57.0	89.0	25.9
2	12.21	7.95	97.07	49.38	65.37	15.99	56.19	57.0	93.0	32.4
3	12.73	7.94	101.07	49.98	75.76	25.78	61.07	59.0	101.5	51.6
4	12.66	7.92	100.26	49.91	76.48	26.57	60.95	59.5	101.0	53.2
5	12.58	7.84	98.62	49.95	62.47	12.52	59.70	59.5	98.5	25.1
6	12.91	7.96	102.76	49.75	67.82	18.07	62.42	59.0	104.0	36.3
7	12.77	7.93	101.26	49.88	75.96	26.08	61.71	59.0	102.5	52.3
8	12.92	7.95	101.71	49.63	62.33	12.70	57.85	59.0	96.5	25.6
9	12.89	7.91	101.95	49.74	68.02	18.28	60.19	59.5	101.0	36.8
10	12.90	7.92	102.17	49.70	63.14	14.44	59.22	59.0	98.5	29.7
11	12.75	7.95	101.36	49.45	75.30	25.85	61.67	59.0	102.5	52.3
12	12.83	7.91	101.61	49.29	58.23	8.94	52.71	59.0	88.0	18.1

Lampiran 2. Perhitungan Hasil Uji Tarik

4. Perhitungan Tegangan Maksimal (σ_u)

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A_0}$$

Dimana: σ_u = Tegangan *ultimate* (MPa)

P_u = Beban (kg)

A_0 = Luas penampang mula-mula (mm^2)

a. Tegangan maksimal (σ_u) *no-preheating*

- Tegangan maksimal (σ_u) *no-preheating* 1:

$$P_u = 10000 \text{ kg} \times \frac{54,09}{100} = 5409 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{5409}{97,70} = 55,360 \text{ kg/mm}^2 = 553,60 \text{ MPa}$$

- Tegangan maksimal (σ_u) *no-preheating* 2:

$$P_u = 10000 \text{ kg} \times \frac{56,19}{100} = 5619 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{5619}{97,07} = 57,886 \text{ kg/mm}^2 = 578,86 \text{ MPa}$$

- Tegangan maksimal (σ_u) *no-preheating* 3:

$$P_u = 10000 \text{ kg} \times \frac{61,07}{100} = 6107 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{6107}{101,07} = 60,420 \text{ kg/mm}^2 = 604,20 \text{ MPa}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{553,60 + 578,86 + 604,20}{3} = 578,88 \text{ MPa}$$

b. Tegangan maksimal (σ_u) *preheating*100°C

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating*100°C 1:

$$P_u = 10000 \text{ kg} \times \frac{60,95}{100} = 6095 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{6095}{100,26} = 60,788 \text{ kg/mm}^2 = 607,88 \text{ MPa}$$

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating*100°C 2:

$$P_u = 10000 \text{ kg} \times \frac{59,70}{100} = 5970 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{5970}{98,62} = 60,531 \text{ kg/mm}^2 = 605,31 \text{ MPa}$$

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating*100°C 3:

$$P_u = 10000 \text{ kg} \times \frac{62,42}{100} = 6242 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{6242}{102,76} = 60,741 \text{ kg/mm}^2 = 607,41 \text{ MPa}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{607,88 + 605,31 + 607,41}{3} = 606,87 \text{ MPa}$$

c. Tegangan maksimal (σ_u) *preheating*200°C

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating*200°C 1:

$$P_u = 10000 \text{ kg} \times \frac{61,71}{100} = 6171 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{6171}{101,26} = 60,938 \text{ kg/mm}^2 = 609,38 \text{ MPa}$$

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating*200°C 2:

$$P_u = 10000 \text{ kg} \times \frac{57,85}{100} = 5785 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{5785}{102,71} = 56,321 \text{ kg/mm}^2 = 563,21 \text{ MPa}$$

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating*200°C 3:

$$P_u = 10000 \text{ kg} \times \frac{60,19}{100} = 6019 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{6019}{101,95} = 59,033 \text{ kg/mm}^2 = 590,33 \text{ MPa}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{609,38 + 563,21 + 590,33}{3} = 578,64 \text{ MPa}$$

d. Tegangan maksimal (σ_u) *preheating* 300°C

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating* 300°C 1:

$$P_u = 10000 \text{ kg} \times \frac{59,22}{100} = 5922 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{5922}{102,17} = 57,963 \text{ kg/mm}^2 = 579,63 \text{ MPa}$$

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating* 300°C 2:

$$P_u = 10000 \text{ kg} \times \frac{61,67}{100} = 6167 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{6167}{101,36} = 60,841 \text{ kg/mm}^2 = 608,41 \text{ MPa}$$

- Tegangan maksimal (σ_u) *preheating* 300°C 3:

$$P_u = 10000 \text{ kg} \times \frac{52,71}{100} = 5271 \text{ kg}$$

$$\sigma_u = \frac{5271}{101,61} = 51,873 \text{ kg/mm}^2 = 518,73 \text{ MPa}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{579,63 + 608,41 + 518,73}{3} = 568,92 \text{ MPa}$$

5. Perhitungan Regangan (ϵ)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana: ϵ = *Elongation* (%)

L_f = Panjang spesimen setelah diuji tarik (mm)

L_0 = Panjang spesimen sebelum diuji tarik (mm)

a. Regangan (ϵ) *Raw Material*

- Regangan (ϵ) *non-preheating* 1:

$$\epsilon = \frac{(61,74 - 49,04) \text{ mm}}{50} \times 100\%$$

$$= \frac{12,7}{50} \times 100\% = 25,4\%$$

- Regangan (ϵ) *non-preheating* 2:

$$\epsilon = \frac{(65,37 - 49,38)\text{mm}}{50} \times 100\%$$

$$= \frac{15,99}{50} \times 100\% = 31,98\%$$

- Regangan (ϵ) *non-preheating* 3:

$$\epsilon = \frac{(75,76 - 49,98)\text{mm}}{50} \times 100\%$$

$$= \frac{25,78}{50} \times 100\% = 51,56\%$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{24,4 + 31,98 + 51,56}{3} = 35,98\%$$

b. Regangan (ϵ) *Raw Material*

- Regangan (ϵ) *preheating* 100°C 1:

$$\epsilon = \frac{(76,48 - 49,91)\text{mm}}{50} \times 100\%$$

$$= \frac{26,57}{50} \times 100\% = 53,14\%$$

- Regangan (ϵ) *preheating* 100°C 2:

$$\epsilon = \frac{(62,47 - 49,95)\text{mm}}{50} \times 100\%$$

$$= \frac{12,52}{50} \times 100\% = 25,04\%$$

- Regangan (ϵ) *preheating* 100°C 3:

$$\epsilon = \frac{(67,82 - 49,75)\text{mm}}{50} \times 100\%$$

$$= \frac{18,07}{50} \times 100\% = 36,14\%$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{53,14 + 25,04 + 36,14}{3} = 36,11\%$$

c. Regangan (ϵ) *Raw Material*

- Regangan (ϵ) *preheating* 200°C 1:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{(75,96 - 49,88)\text{mm}}{50} \times 100\% \\ &= \frac{26,08}{50} \times 100\% = 52,16\% \end{aligned}$$

- Regangan (ϵ) *preheating* 200°C 2:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{(62,33 - 49,63)\text{mm}}{50} \times 100\% \\ &= \frac{12,7}{50} \times 100\% = 25,4\% \end{aligned}$$

- Regangan (ϵ) *preheating* 200°C 3:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{(68,02 - 49,74)\text{mm}}{50} \times 100\% \\ &= \frac{18,28}{50} \times 100\% = 36,56\% \end{aligned}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{52,16 + 25,4 + 36,56}{3} = 38,04\%$$

d. Regangan (ϵ) *Raw Material*

- Regangan (ϵ) *preheating* 300°C 1:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{(63,14 - 48,70)\text{mm}}{50} \times 100\% \\ &= \frac{14,44}{50} \times 100\% = 28,88\% \end{aligned}$$

- Regangan (ϵ) *preheating* 300°C 2:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{(75,30 - 49,45)\text{mm}}{50} \times 100\% \\ &= \frac{25,85}{50} \times 100\% = 51,7\%\end{aligned}$$

- Regangan (ε) *preheating* 300°C 3:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{(58,23 - 49,29)\text{mm}}{50} \times 100\% \\ &= \frac{8,94}{50} \times 100\% = 17,88\%\end{aligned}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{28,88 + 51,7 + 17,88}{3} = 32,82\%$$

6. Perhitungan Tegangan Luluh (σ_y)

$$1 \text{ mm} = \frac{P_u \%}{hU}$$

$$P_y = \frac{h_Y \times 1\text{mm}}{100} \times P$$

$$\sigma_y = \frac{P_y}{A_0}$$

Dimana: P = Beban yang digunakan (kg)

P_y = Beban *yield* (kg)

P_u = Beban *ultimate* (kg)

A_0 = Luas penampang mula-mula (mm²)

hU = tinggi *ultimate* (mm)

hY = tinggi *yield* (mm)

σ_y = Tegangan *yield* (MPa)

a. Tegangan luluh (σ_y) *non-preheating*

- Tegangan luluh (σ_y) *non-preheating* 1:

$$1 \text{ mm} = \frac{54,09\%}{89} = 0,60775\%$$

$$h_Y = 57 \text{ mm}$$

$$P_y = \frac{57 \times 0,60775}{100} \times 10000 = 3464,175 \text{ kg}$$

$$\sigma_y = \frac{3464,175 \text{ kg}}{97,70 \text{ mm}^2} = 35,457 \text{ kg/mm}^2 = 354,57 \text{ MPa}$$

- Tegangan luluh (σ_y) *non-preheating* 2:

$$1 \text{ mm} = \frac{56,19\%}{93} = 0,60419\%$$

$$h_Y = 57 \text{ mm}$$

$$P_y = \frac{57 \times 0,60419}{100} \times 10000 = 344,3883 \text{ kg}$$

$$\sigma_y = \frac{344,3883 \text{ kg}}{97,07 \text{ mm}^2} = 35,478 \text{ kg/mm}^2 = 354,78 \text{ MPa}$$

- Tegangan luluh (σ_y) *non-preheating* 3:

$$1 \text{ mm} = \frac{61,07\%}{101,5} = 0,60167\%$$

$$h_Y = 59 \text{ mm}$$

$$P_y = \frac{59 \times 0,60167}{100} \times 10000 = 3549,853 \text{ kg}$$

$$\sigma_y = \frac{3549,853 \text{ kg}}{101,07 \text{ mm}^2} = 35,12272 \text{ kg/mm}^2 = 351,23 \text{ MPa}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{354,57 + 354,78 + 351,23}{3} = 353,53 \text{ MPa}$$

- b. Tegangan luluh (σ_y) *preheating* 100°C

- Tegangan luluh (σ_y) *preheating* 100°C 1:

$$1 \text{ mm} = \frac{60,95\%}{101} = 0,60347\%$$

$$h_Y = 59,5 \text{ mm}$$

$$P_y = \frac{59,5 \times 0,60347}{100} \times 10000 = 3590,647 \text{ kg}$$

$$\sigma_y = \frac{3590,647 \text{ kg}}{100,26 \text{ mm}^2} = 35,81336 \text{ kg/mm}^2 = 358,13 \text{ MPa}$$

- Tegangan luluh (σ_y) *preheating* 100°C 2:

$$1 \text{ mm} = \frac{59,70\%}{98,5} = 0,60609\%$$

$$h_Y = 59,5 \text{ mm}$$

$$P_y = \frac{59,5 \times 0,60609}{100} \times 10000 = 3606,236 \text{ kg}$$

$$\sigma_y = \frac{3606,236 \text{ kg}}{98,62 \text{ mm}^2} = 36,56698 \text{ kg/mm}^2 = 365,67 \text{ MPa}$$

- Tegangan luluh (σ_y) *preheating* 100°C 3:

$$1 \text{ mm} = \frac{62,52\%}{104} = 0,60115\%$$

$$h_Y = 59 \text{ mm}$$

$$P_y = \frac{59 \times 0,60115}{100} \times 10000 = 3546,785 \text{ kg}$$

$$\sigma_y = \frac{3546,785 \text{ kg}}{102,76 \text{ mm}^2} = 34,51523 \text{ kg/mm}^2 = 345,52 \text{ MPa}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{358,13 + 365,67 + 345,52}{3} = 356,44 \text{ MPa}$$

- c. Tegangan luluh (σ_y) *preheating* 200°C

- Tegangan luluh (σ_y) *preheating* 200°C 1:

$$1 \text{ mm} = \frac{61,71\%}{102,5} = 0,60205\%$$

$$h_Y = 59 \text{ mm}$$

$$P_y = \frac{59 \times 0,60205}{100} \times 10000 = 3552,095 \text{ kg}$$

$$\sigma_y = \frac{3552,095 \text{ kg}}{101,26 \text{ mm}^2} = 35,07896 \text{ kg/mm}^2 = 350,79 \text{ MPa}$$

- Tegangan luluh (σ_y) *preheating* 200°C 2:

$$1 \text{ mm} = \frac{57,85\%}{96,5} = 0,59948\%$$

$$h_Y = 59 \text{ mm}$$

$$P_y = \frac{59 \times 0,59948}{100} \times 10000 = 3536,932 \text{ kg}$$

$$\sigma_y = \frac{3536,932 \text{ kg}}{101,71 \text{ mm}^2} = 34,77467 \text{ kg/mm}^2 = 347,75 \text{ MPa}$$

- Tegangan luluh (σ_y) *preheating* 200°C 3:

$$1 \text{ mm} = \frac{60,19\%}{101} = 0,59594\%$$

$$h_Y = 59,5 \text{ mm}$$

$$P_y = \frac{59,5 \times 0,59594}{100} \times 10000 = 3545,843 \text{ kg}$$

$$\sigma_y = \frac{3545,843 \text{ kg}}{101,95 \text{ mm}^2} = 34,78 \text{ kg/mm}^2 = 347,8 \text{ MPa}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{350,79 + 347,75 + 347,8}{3} = 348,78 \text{ MPa}$$

- d. Tegangan luluh (σ_y) *preheating* 300°C

- Tegangan luluh (σ_y) *preheating* 300°C 1:

$$1 \text{ mm} = \frac{59,22\%}{98,5} = 0,60122\%$$

$$h_Y = 56 \text{ mm}$$

$$P_y = \frac{56 \times 0,60122}{100} \times 10000 = 3366,832 \text{ kg}$$

$$\sigma_y = \frac{3366,832 \text{ kg}}{102,17 \text{ mm}^2} = 32,953 \text{ kg/mm}^2 = 329,53 \text{ MPa}$$

- Tegangan luluh (σ_y) *preheating* 300°C 2:

$$1 \text{ mm} = \frac{61,62\%}{102,5} = 0,60117\%$$

$$h_Y = 55 \text{ mm}$$

$$P_y = \frac{55 \times 0,60117}{100} \times 10000 = 3306,435 \text{ kg}$$

$$\sigma_y = \frac{3306,435 \text{ kg}}{101,36 \text{ mm}^2} = 32,62071 \text{ kg/mm}^2 = 326,21 \text{ MPa}$$

- Tegangan luluh (σ_y) *preheating* 200°C 3:

$$1 \text{ mm} = \frac{52,71\%}{88} = 0,59898\%$$

$$h_Y = 55 \text{ mm}$$

$$P_y = \frac{55 \times 0,59898}{100} \times 10000 = 3294,39 \text{ kg}$$

$$\sigma_y = \frac{3294,39 \text{ kg}}{101,61 \text{ mm}^2} = 32,42191 \text{ kg/mm}^2 = 324,22 \text{ MPa}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{329,53 + 326,21 + 324,22}{3} = 326,65 \text{ MPa}$$

7. Perhitungan Regangan (\square)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana: $\varepsilon = \text{Elongation (\%)}$

$L_f = \text{Panjang spesimen setelah diuji tarik (mm)}$

L_0 = Panjang spesimen sebelum diuji tarik (mm)

a. Regangan (ϵ) *non-preheating*

- Regangan (ϵ) *non-preheating* 1:

$$\begin{aligned}\epsilon &= \frac{(61,74 - 49,04)\text{mm}}{50} \times 100\% \\ &= \frac{12,7}{50} \times 100\% = 25,4\%\end{aligned}$$

- Regangan (ϵ) *non-preheating* 2:

$$\begin{aligned}\epsilon &= \frac{(65,37 - 49,38)\text{mm}}{50} \times 100\% \\ &= \frac{15,99}{50} \times 100\% = 31,98\%\end{aligned}$$

- Regangan (ϵ) *non-preheating* 3:

$$\begin{aligned}\epsilon &= \frac{(75,76 - 49,98)\text{mm}}{50} \times 100\% \\ &= \frac{25,78}{50} \times 100\% = 51,56\%\end{aligned}$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{25,4 + 31,98 + 51,56}{3} = 36,31\%$$

b. Regangan (ϵ) *preheating* 100°C

- Regangan (ϵ) *preheating* 100°C 1:

$$\begin{aligned}\epsilon &= \frac{(76,48 - 49,91)\text{mm}}{50} \times 100\% \\ &= \frac{26,57}{50} \times 100\% = 53,14\%\end{aligned}$$

- Regangan (ϵ) *preheating* 100°C 2:

$$\begin{aligned}\epsilon &= \frac{(62,47 - 49,95)\text{mm}}{50} \times 100\% \\ &= \frac{12,52}{50} \times 100\% = 25,04\%\end{aligned}$$

- Regangan (ϵ) *preheating* 100°C 3:

$$\epsilon = \frac{(67,82 - 49,75)\text{mm}}{50} \times 100\%$$

$$= \frac{18,07}{50} \times 100\% = 36,14\%$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{53,14 + 25,04 + 36,14}{3} = 38,11\%$$

- c. Regangan (ϵ) *preheating* 200°C

- Regangan (ϵ) *preheating* 200°C 1:

$$\epsilon = \frac{(75,96 - 49,88)\text{mm}}{50} \times 100\%$$

$$= \frac{26,08}{50} \times 100\% = 52,16\%$$

- Regangan (ϵ) *preheating* 200°C 2:

$$\epsilon = \frac{(62,33 - 49,63)\text{mm}}{50} \times 100\%$$

$$= \frac{12,7}{50} \times 100\% = 25,4\%$$

- Regangan (ϵ) *preheating* 200°C 3:

$$\epsilon = \frac{(68,02 - 49,74)\text{mm}}{50} \times 100\%$$

$$= \frac{18,28}{50} \times 100\% = 36,54\%$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{52,16 + 25,4 + 36,54}{3} = 38,03\%$$

- d. Regangan (ϵ) *preheating* 300°C

- Regangan (ϵ) *preheating* 300°C 1:

$$\epsilon = \frac{(63,14 - 48,70)\text{mm}}{50} \times 100\%$$

$$= \frac{14,44}{50} \times 100\% = 28,88\%$$

- Regangan (ϵ) *preheating* 300°C 2:

$$\epsilon = \frac{(75,30 - 49,45)\text{mm}}{50} \times 100\%$$

$$= \frac{25,85}{50} \times 100\% = 51,7\%$$

- Regangan (ϵ) *preheating* 300°C 3:

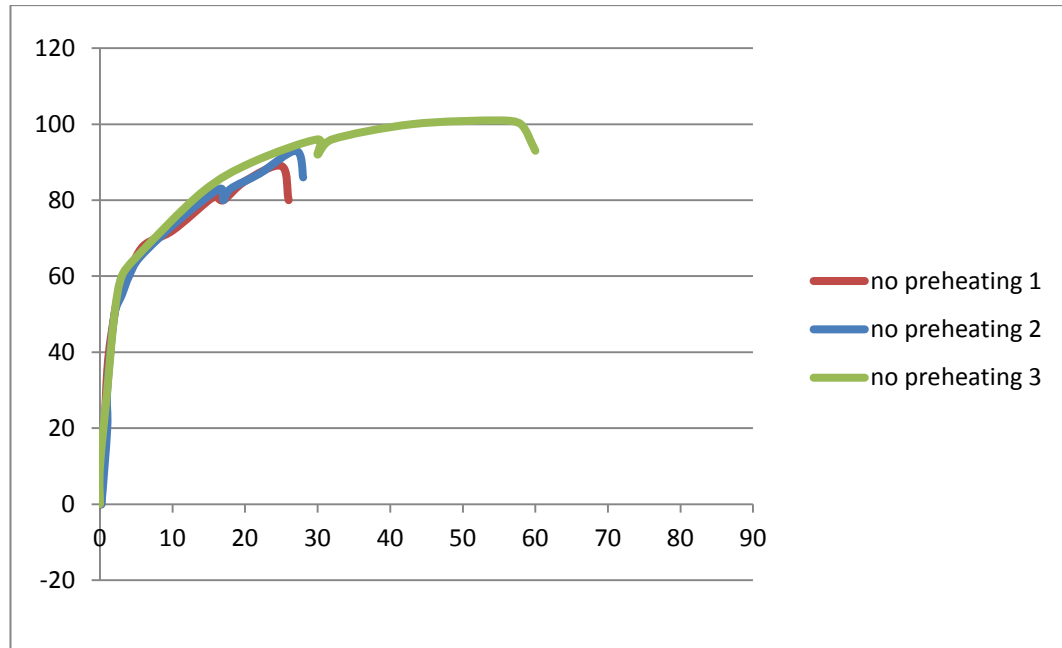
$$\epsilon = \frac{(58,23 - 49,29)\text{mm}}{50} \times 100\%$$

$$= \frac{8,94}{50} \times 100\% = 17,88\%$$

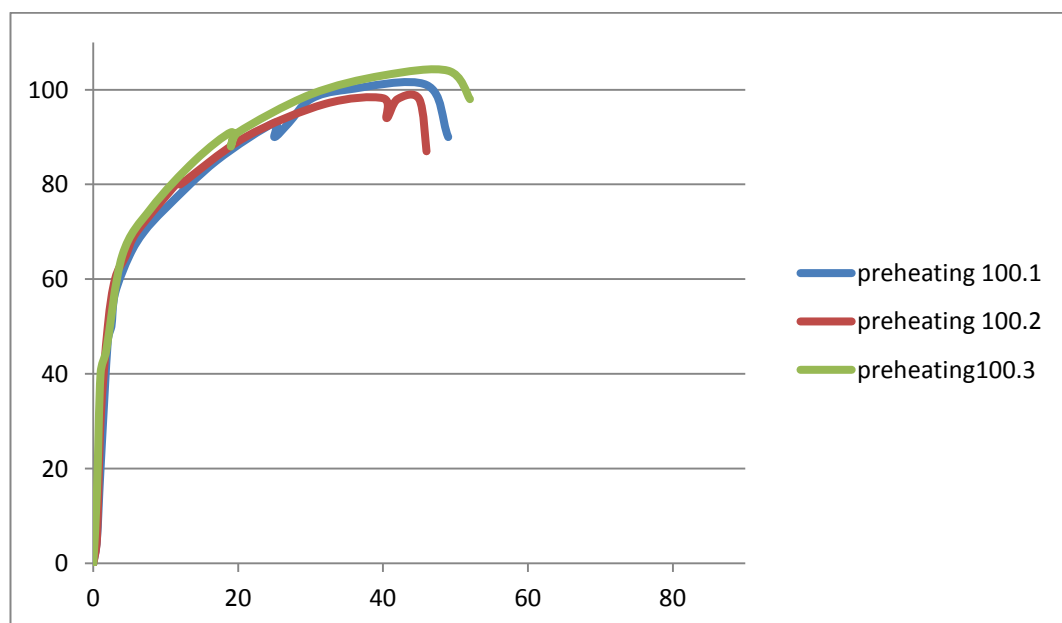
$$\text{Rata - rata} = \frac{52,16 + 25,4 + 36,54}{3} = 38,03\%$$

Lampiran 3. Grafik Tegangan Regangan Hasil Uji Tarik

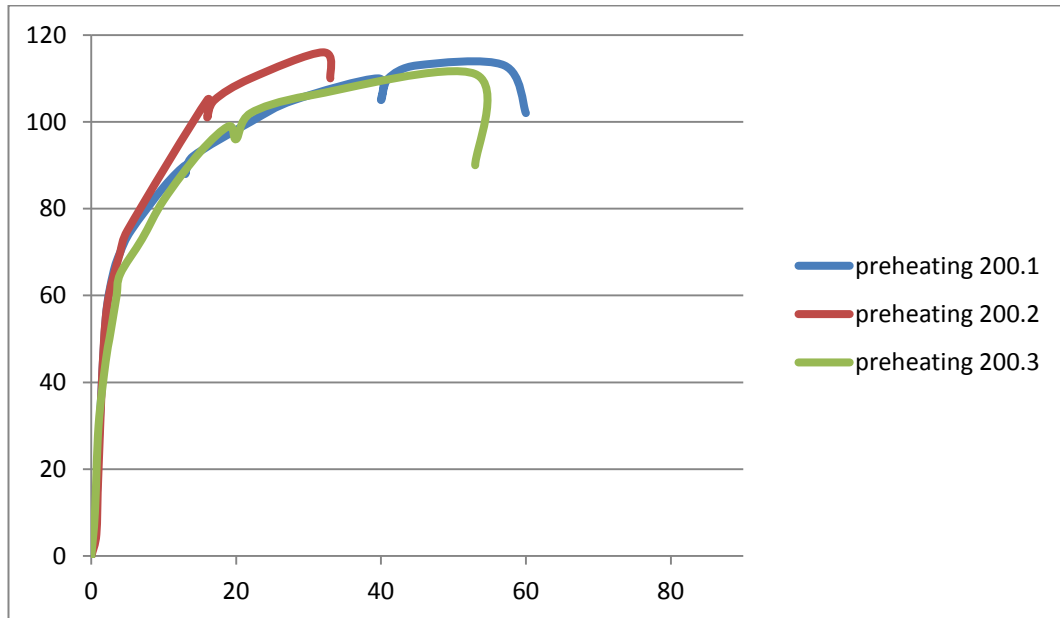
a. Grafik Tegangan Regangan hasil uji tarik pada spesimen *no preheating*.



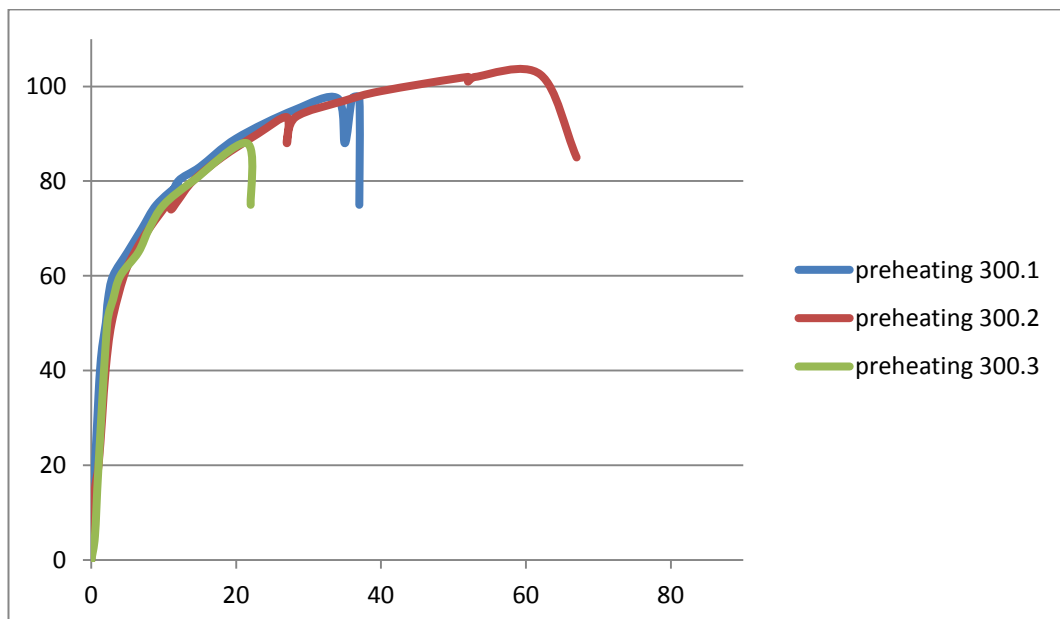
b. Grafik Tegangan Regangan hasil uji tarik pada spesimen *preheating* 100°C.



- c. Grafik Tegangan Regangan hasil uji tarik pada spesimen *preheating* 200°C.

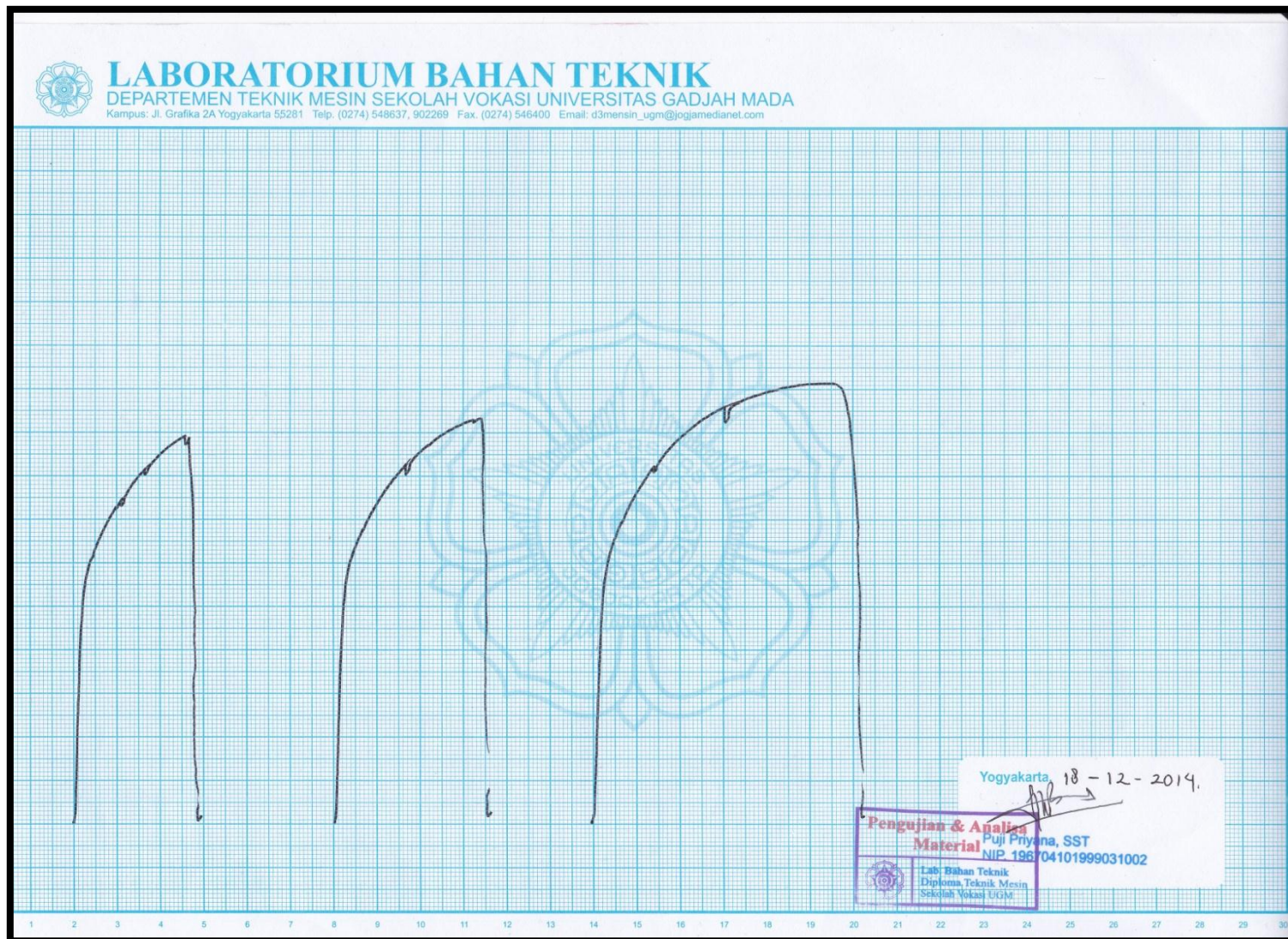


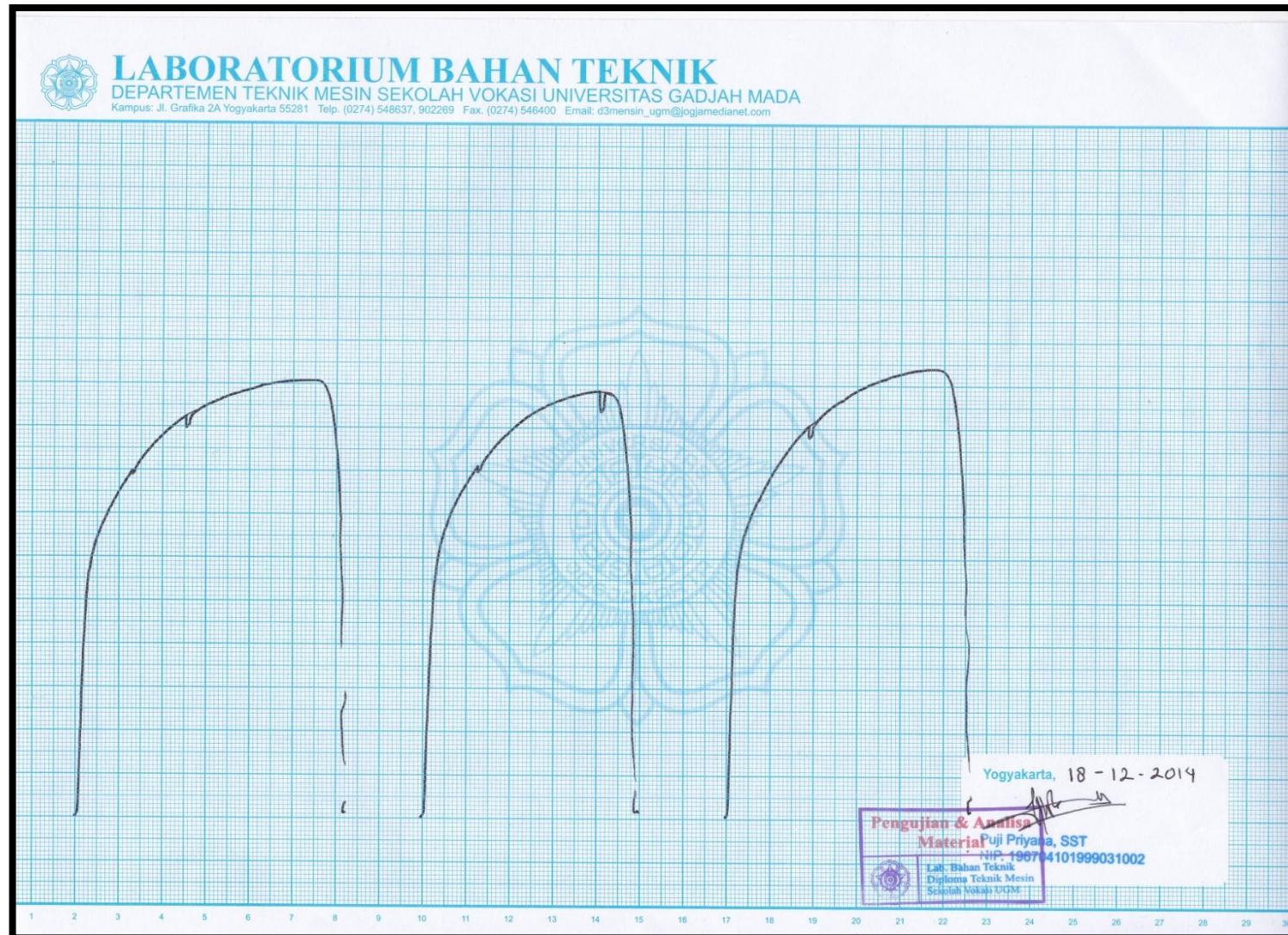
- b. Grafik Tegangan Regangan hasil uji tarik pada spesimen *preheating* 300°C.

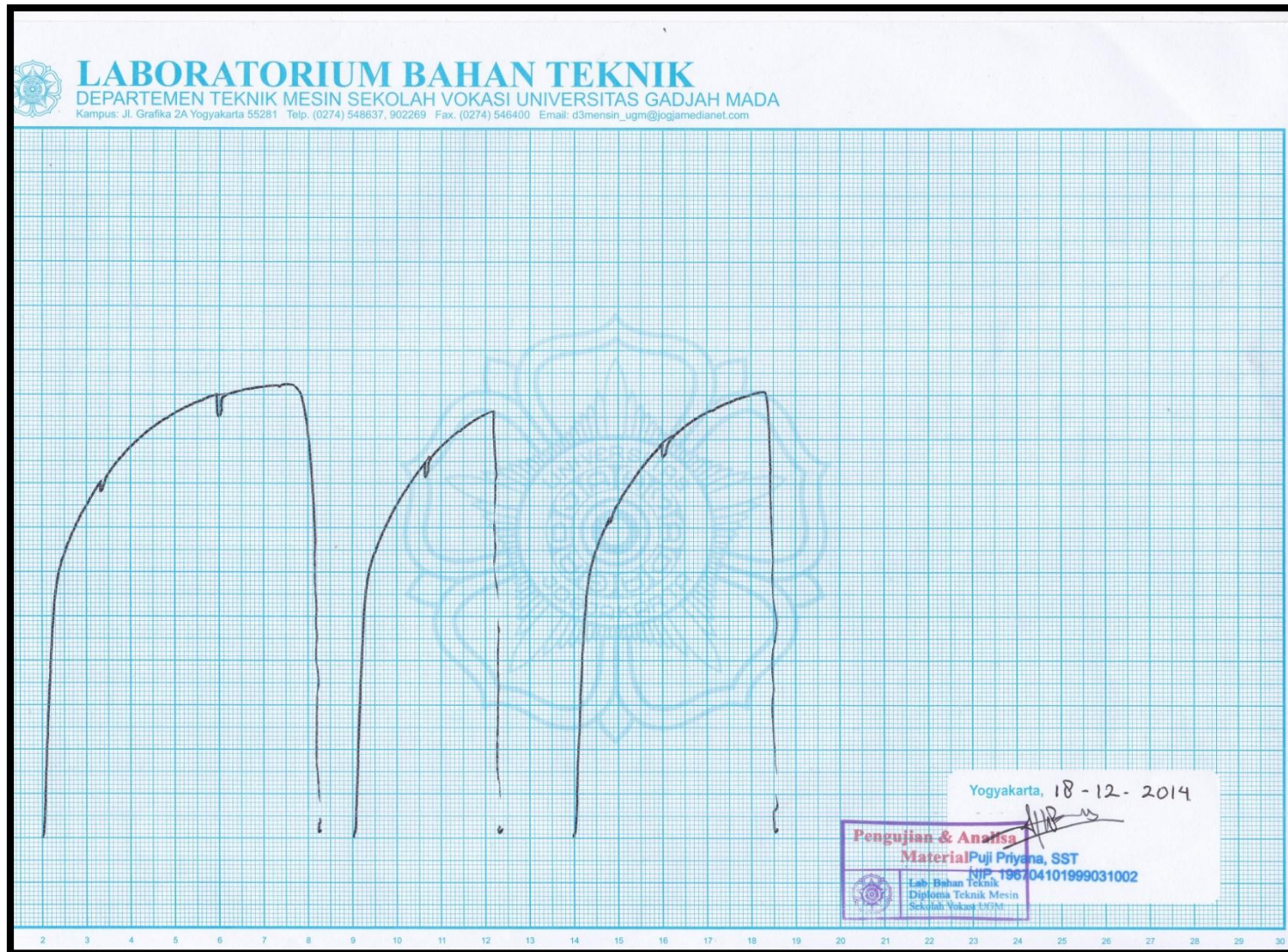


Lampiran 4. Grafik Hasil Uji Tarik

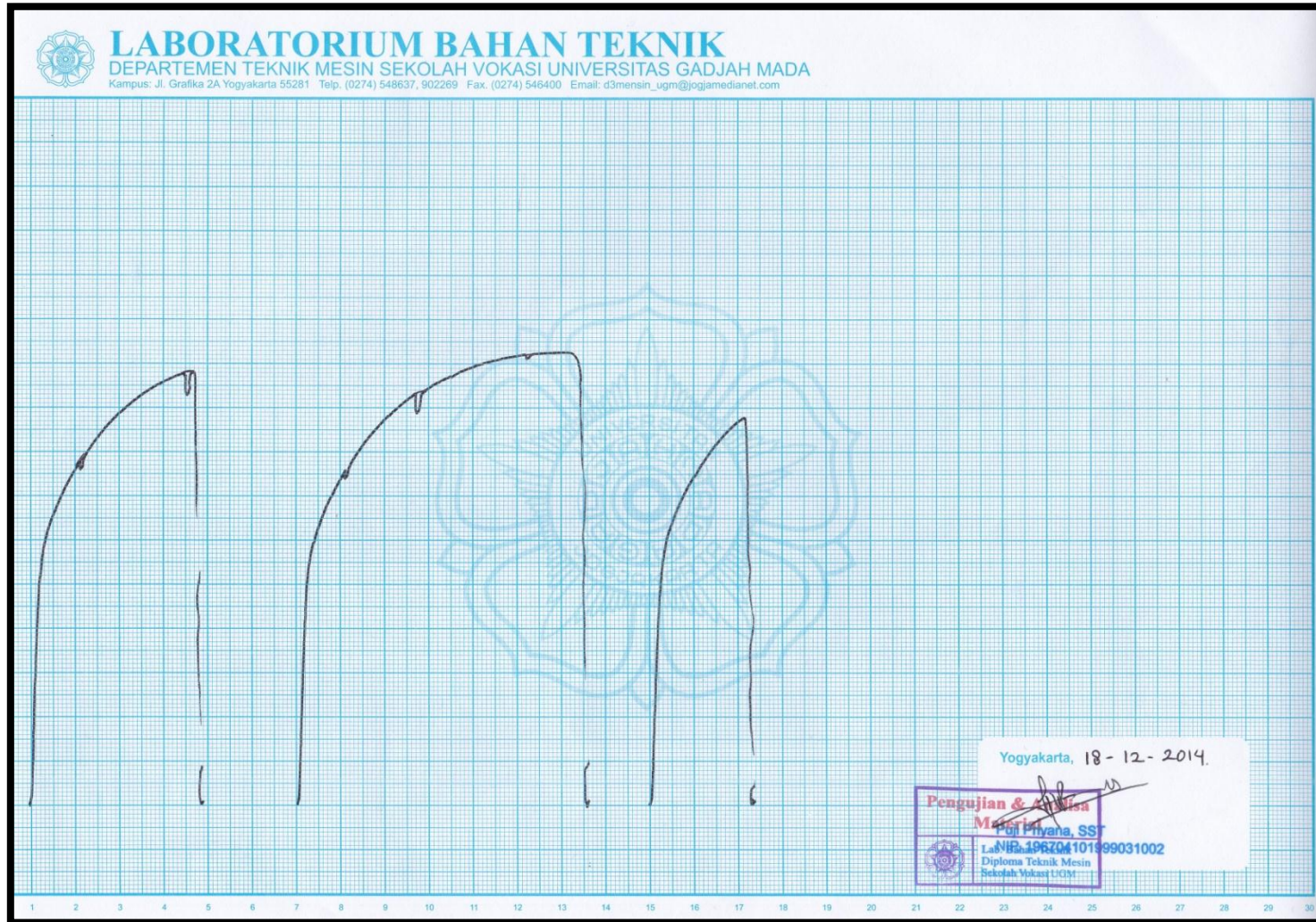
a. Grafik uji tarik *no-preheating*



b. Grafik uji tarik *preheating* 100°C

c. Grafik uji tarik *preheating* 200°C

d. Grafik uji tarik *preheating* 300°C



Lampiran 5. Surat Ijin Penelitian BLKI Semarang

	<p>KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG FAKULTAS TEKNIK Gedung E1 Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229 Telepon/Fax (024) 8508101 – 8508009 Laman : http://www.ft.unnes.ac.id, email: ft_unnes@yahoo.com</p>
<hr/>	
Nomor : 4086/UN37.1.5/DT/2014	13 Oktober 2014
Lamp. : -	
Hal : Ijin Penelitian	
Yth : Kepala BLKI Semarang Jl. Majapahit No. 118 di Semarang	
<p>Dengan hormat, Bersama ini, kami mohon ijin pelaksanaan penelitian untuk menyusun skripsi/tugas akhir oleh mahasiswa sebagai berikut:</p>	
Nama : Dani Mega Sari	
NIM : 5201410007	
Jurusan : Teknik Mesin	
Prodi : Pend. Teknik Mesin S1	
Topik : Pengaruh Suhu Preheating pada Hasil Pengelasan GTAW Terhadap Sifat Mekanis dan Fisis Stainless steel 304.	
Atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih	
	 <p>A.n. Dekan Pembantu Dekan Bidang Akademik Drs. Djoko Adi Widodo, M.T. NIP. 195909271986011001</p>
<p>Tembusan :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang 	
	FM-05-AKD-24

Lampiran 6. Surat Ijin Penelitian Teknik Mesin D III UGM



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

FAKULTAS TEKNIK

Gedung E1 Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229

Telepon/Fax (024) 8508101 – 8508009

Laman : <http://www.ft.unnes.ac.id>, email: ft_unnes@yahoo.com

Nomor : 4087 /UN37.1.5/DT/2014

13 Oktober 2014

Lamp. : -

Hal : **Ijin Penelitian**

Yth : Kepala Lab. Teknik Mesin D III
Universitas Gajah Mada
Di Yogyakarta

Dengan hormat,

Bersama ini, kami mohon ijin pelaksanaan penelitian untuk menyusun skripsi/tugas akhir oleh mahasiswa sebagai berikut:

Nama : Dani Mega Sari
NIM : 5201410007
Jurusan : Teknik Mesin
Prodi : Pend. Teknik Mesin S1
Topik : Pengaruh Suhu Preheating pada Hasil Pengelasan GTAW Terhadap Sifat Mekanis dan Fisis Stainless steel 304.

Atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih



A.n. Dekan
Pembantu Dekan Bidang Akademik

Drs. Djoko Adi Widodo, M.T.
NIP. 195909271986011001

Tembusan :

1. Dekan Fakultas Teknik
Universitas Negeri Semarang

FM-05-AKD-24

Lampiran 7. Surat Keterangan Pengujian



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
PROGRAM DIPLOMA TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS GADJAH MADA

SURAT KETERANGAN PENGUJIAN

Dengan ini kami menerangkan bahwa mahasiswa dengan identitas :

Nama : DANI MEGA SARI
 Nim : 5201410007
 Jurusan : Pendidikan Teknik Mesin, S1
 Universitas : Universitas Negeri Semarang

Telah melakukan pengujian **Tarik menggunakan alat Universal Testing Machine** dan **Analisa Struktur Mikro menggunakan alat Metallurgical Microscop With Inverted (Olympus PME 3)** pada tanggal 18 Desember 2014 di Laboratorium Bahan Teknik Diploma Teknik Mesin SV UGM untuk judul Skripsi :

"Pengaruh Suhu Preheating pada Hasil Pengelasan GTAW Terhadap Sifat Mekanis dan Fisis Stainless Steel 304"

Semoga surat keterangan ini dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 24 Desember 2014
 Staf Lab Bahan



 Puji Priyana, SST
 NIP. 196704101999031002

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281 Telepon : (0274) 7476432, 548637, 6492269. Fax. (0274) 546400
 E-mail: lab.bahanteknik@yahoo.co.id

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Lampiran 8. Surat Hasil Pengujian Tarik



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
PROGRAM DIPLOMA TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

Spesimen Stainless Steel 304, Pengelasan Variasi Preheating

No.	Kode Spes.	Teg. Luluh (σ_Y) (MPa)	Teg. Max (σ_U) (MPa)	Regangan (ϵ) (%)
1	0.1	354.55	553.60	25.9
2	0.2	354.79	578.86	32.4
3	0.3	351.21	604.20	51.6
4	1.1	358.11	607.88	53.2
5	1.2	365.64	605.31	25.1
6	1.3	344.59	607.41	36.3
7	2.1	350.77	609.38	52.3
8	2.2	344.35	563.21	25.6
9	2.3	347.77	590.33	36.8
10	3.1	329.54	579.63	29.7
11	3.2	326.46	608.41	52.3
12	3.3	324.21	518.73	18.1

Keterangan :

1. Spesimen Uji mengacu ASTM E 8 M
2. Kode spes. 0.x : tanpa preheating / tanpa perlakuan
3. Kode spes. 1.x : preheating 100°C
4. Kode spes. 2.x : preheating 200°C
5. Kode spes. 3.x : preheating 300°C
6. Pengujian dilakukan pada tanggal 18 Desember 2014

Yogyakarta, 24 Desember 2014
Staf Laboratorium Bahan Teknik



Pengujian & Analisis Material
Lab. Bahan Teknik
Diploma Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM

Puji Priyana SST
NIP. 196704101999031002

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281 Telepon : (0274) 7476432, 548637, 6492269. Fax. (0274) 546400
E-mail: lab.bahanteknik@yahoo.co.id

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Lampiran 9. Hasil Uji Komposisi

COMPANY		PT. ITOKOH CEPERINDO								
SAMPLE NAME		SAMPLE 1								
CUSTOMER		SAMI (UNRES)								
FURNACE		321892A01/4891								
OPERATOR		LEO								
DATE / TIME		18-OCT-2014 11:29:08								
TASK		Cooc_Fel METHOD FEGLFE								
Pet	S	Al	C	K1	Hb	Si	Ca	V		
1	70.7655	0.0012	0.0070	0.0545	7.7255	0.0393	0.3228	18.1466	0.000	
2	70.7598	0.0008	0.0057	0.0511	7.7214	0.0390	0.3223	18.1695	0.001	
AVG	70.7628	0.0009	0.0063	0.0528	7.7284	0.0394	0.3229	18.1570	0.001	
SD	0.00463	0.00043	0.00096	0.00241	0.01063	0.00014	0.00009	0.01762	0.000	
SD+	0.01	49.21	12.24	4.55	0.12	0.36	0.02	0.10	0.33	
Mn	Mg	W	P	Du	Ti	N	B	Fb		
1	1.0710	0.0885	0.0263	0.0229	0.3352	0.0011	0.0718	0.0005	0.012	
2	1.0743	0.0827	0.0265	0.0216	0.3330	0.0010	0.0664	0.0005	0.012	
AVG	1.0729	0.0891	0.0264	0.0222	0.3350	0.0010	0.0706	0.0005	0.013	
SD	0.00253	0.00088	0.00018	0.00082	0.00170	0.00004	0.00167	0.00000	0.000	
SD+	0.16	0.23	0.49	2.84	0.45	3.76	2.37	0.94	4.01	
Sb	Cu	Hg	Se	Co						
1	0.0122	0.0003	0.0102	-0.0007	0.1522					
2	0.0183	0.0004	0.0103	-0.0018	0.1526					
AVG	0.0122	0.0004	0.0103	-0.0007	0.1524					
SD	0.00002	0.00002	0.00002	0.00008	0.00002					
SD+	1.01	28.31	0.23	2.03	0.15					

PT. ITOKOH CEPERINDO

Lampiran 10. Sertifikat Las

0618674



**BADAN NASIONAL
SERTIFIKASI PROFESI**
*INDONESIAN PROFESSIONAL
CERTIFICATION AUTHORITY*

SERTIFIKAT KOMPETENSI *CERTIFICATE OF COMPETENCE*

No. 26900 7212 05 00221602

Dengan ini menyatakan bahwa,
This is to certify that:

BUDI HARTANTO, S.Pd

No. Reg. LOG 004 003947 2013

Telah kompeten pada bidang :
is competent in the area of :

01. LOG.OO.01.002.01 04. LOG.OO.05.017.01
02. LOG.OO.02.005.01 05. LOG.OO.05.021.01
03. LOG.OO.09.002.01

dengan Kualifikasi/Kompetensi :
with Qualification/Competency :

Pabrikasi

Fabrication

(Welder GTAW)

Sertifikat ini berlaku untuk: 3 (Tiga) Tahun
This certificate is valid for: 3 (Three) Year

Jakarta, 19 September 2013

Atas Nama (On Behalf of)

Badan Nasional Sertifikasi Profesi

Lembaga Sertifikasi Profesi Logam dan Mesin Indonesia

Indonesian Professionals Certification Body Metalworks and Machinery

Bambang Nurcahyono

Executive Director



Ir. Dasep Ahmadi

Executive Director

Lampiran 11. Foto-Foto Kegiatan



Gambar Pengelasan GTAW di BLKI Semarang



**Gambar Pengujian Foto Mikro dan Uji Tarik
Di Lab. Bahan, Teknik Mesin D III UGM**



Gambar Spesimen Uji Tarik



Gambar Spesimen Foto Mikro