

**SIFAT TERMOMEKANIKAL DAN KETANGGUHAN  
BAJA AISI 1018 PADA SUHU TINGGI**

**(Skripsi)**

**Oleh:**

**MARIO SALIMOR**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

## **ABSTRAK**

### **SIFAT TERMOMEKANIKAL DAN KETANGGUHAN BAJA AISI 1018 PADA SUHU TINGGI**

**Oleh**

**MARIO SALIMOR**

Sifat mekanik baja tarik dingin (CDS) AISI 1018 diuji tarik pada suhu 25 °C sampai 750 °C pada kondisi *steady state* (keadaan tunak). Penurunan sifat mekanik CDS pada suhu yang berbeda ditunjukkan pada faktor reduksi modulus elastis, kekuatan luluh, dan kekuatan tertinggi. Selain itu, setelah pengujian mekanik, mikrostruktur baja di daerah fraktur (patahan) diuji menggunakan mikroskop elektron (SEM) dan pada permukaan spesimen baja diamati dengan mikroskop optik (OM). Berdasarkan standar desain yang ada saat ini, perbandingan faktor reduksi diusulkan untuk

penerapan CDS pada suhu tinggi. Hasilnya menunjukkan bahwa hubungan pengamatan (empiris) yang direkomendasikan oleh standar saat ini tidak dapat digunakan untuk memprediksi sifat mekanik CDS. Dalam suatu sisi produk baja, baja *cold-formed* (CFS) atau *high-strength steel* (HSS) menunjukkan faktor reduksi yang berbeda dari CDS pada suhu tinggi. Oleh karena itu, pengamatan untuk faktor reduksi diusulkan dalam kisaran suhu dari 100 °C sampai 750 °C. DSA disebabkan pengerasan yang bekerja pada CDS termasuk dalam peraturan kode rasional berdasarkan pengaplikasian material pada desain suhu tinggi.

Kata kunci : baja tarik dingin, peralatan mekanis, faktor reduksi, pengerasan yang bekerja, desain suhu tinggi.

## **ABSTRACT**

### **THERMOMECHANICAL PROPERTIES AND TOUGHNESS STEEL AISI 1018 AT HIGH TEMPERATURE**

**By**

**MARIO SALIMOR**

The mechanical properties of cold-drawn steel (CDS) AISI 1018 were measured experimentally in the temperature range of 25 °C to 750 °C under steady-state conditions. The deterioration of the mechanical properties of the CDS at different temperatures was represented in terms of the reduction factors of the elastic modulus, yield strength, and ultimate strength. In addition, after mechanical testing, the steel microstructures at the fracture region were examined by scanning electron microscopy (SEM), and the fractographs of the surface of the steel specimens were

observed by optical microscopy (OM). Based on the available current design standards, comparisons of the reduction factor were proposed for application of CDS at elevated temperatures. The results show that the empirical relations recommended by the current standards cannot be used to predict the mechanical properties of CDS. In the side view of steel products, either cold-formed steel (CFS) or high-strength steel (HSS) showed a different reduction factor than the CDS at elevated temperatures. Therefore, predictive equations for the reduction factors were proposed in the temperature range from 100 °C to 750 °C. Dynamic strain aging induced work hardening of CDS is included in the prescriptive code rules for rational high-temperature material application based design.

Keywords : cold-drawn steel; mechanical properties; reduction factor; work hardening; high-temperature design

**SIFAT TERMOMEKANIKAL DAN KETANGGUHAN  
BAJA AISI 1018 PADA SUHU TINGGI**

Oleh  
**MARIO SALIMOR**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

**Judul Skripsi : SIFAT TERMOMEKANIKAL DAN  
KETANGGUHAN BAJA AISI 1018  
PADA SUHU TINGGI**

**Nama Mahasiswa : Mario Salimor**

**Nomor Pokok Mahasiswa : 1015021066**

**Program Studi : Teknik Mesin**

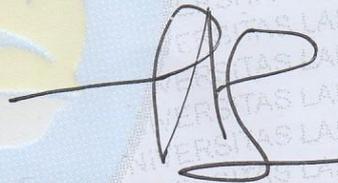
**Fakultas : Teknik**

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

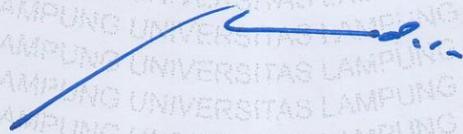


**Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T.**  
**NIP 19721211 199803 1 002**



**Zulhanif, S.T., M.T.**  
**NIP 19730402 200003 1 002**

**2. Ketua Jurusan Teknik Mesin**



**Ahmad Su'udi, S.T., M.T.**  
**NIP 19700412 199703 1 006**

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

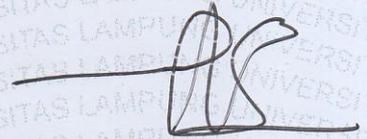
**Ketua**

**: Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T.** .....



**Sekretaris**

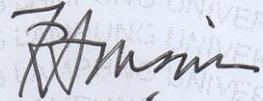
**: Zulhanif, S.T., M.T.** .....



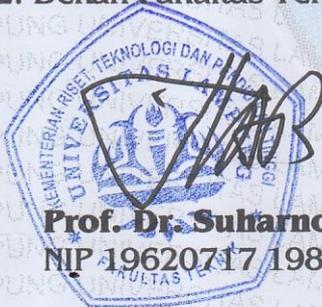
**Penguji**

**Bukan Pembimbing**

**: Dr. Irza Sukmana, S.T., M.T.** .....



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.**

**NIP. 19620717 198703 1 002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 15 Desember 2017**

**PERNYATAAN PENULIS**

**SAYA YANG BERTANDA TANGAN DIBAWAH INI :**

**NAMA : MARIO SALIMOR**

**NPM : 1015021066**

**MENYATAKAN BAHWA SESUNGGUHNYA KARYA TULIS YANG BERJUDUL : “SIFAT TERMOMEKANIKAL DAN KETANGGUHAN BAJA AISI 1018 PADA SUHU TINGGI” ADALAH BENAR-BENAR HASIL KARYA SENDIRI SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN REKTOR NO.3187/H26/PP/2010.**

**YANG MEMBUAT PERNYATAAN**



**MARIO SALIMOR**

**1015021066**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, Lampung pada tanggal 17 April 1992, sebagai anak ketiga dari empat bersaudara, dari bapak Ibnu Salim dan Ibu Murniyati.

Pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) Taruna Jaya Bandar Lampung diselesaikan tahun 1998, Sekolah Dasar (SD) di SDN 2 Perumnas Way Halim, Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2004, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 25 Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2007, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 2 Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2010.

Tahun 2010, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Unila melalui jalur Ujian Mandiri Lokal Perguruan Tinggi Negeri (UMLPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Material, mengikuti Organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) dan Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Futsal. Pada tahun 2013, penulis melakukan kerja praktik di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Tarahan Lampung Selatan dengan judul *Efisiensi Hasil Produksi Air Demin Load Setter 100% dan 70% pada*

*desalination plant di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Tarahan Unit 3 dan 4 Lampung Selatan.*

Pada tahun 2015 penulis mulai melakukan tugas akhir (TA) dengan konsentrasi material, dengan judul “*SIFAT TERMOMEKANIKAL DAN KETANGGUHAN BAJA AISI 1018 PADA SUHU TINGGI*” dibawah bimbingan Bapak Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T. Dan Bapak Zulhanif, S.T., M.T. serta Bapak Dr. Irza Sukmana, S.T., M.T. selaku dosen pembahas atau penguji. Dan dinyatakan lulus sidang skripsi pada tanggal 15 Desember 2017.

BISMILLAHIRRAHMANIRRAHIM

DENGAN KERENDAHAN HATI

DOA DAN HARAPAN MENGGAPAI RIDHO ALLAH SWT

KUPERSEMBAHKAN KARYA INI UNTUK

**KEDUA ORANG TUAKU**

**IBNU SALIM DAN MURNIYATI**

ATAS DOA YANG SELALU KALIAN UCAPKAN, TETESAN KERINGAT DAN

AIR MATA KASIH SAYANGNYA SEMOGA ALLAH SWT SELALU

MEMBERIKAN KASIH SAYANGNYA SERTA RAHMAT DAN HIDAYAHNYA

KEPADA KEDUA ORANG TUAKU

KAKAK-KAKAKKU DAN ADIKKU

YANG SELALU BERDOA DAN MEMBERI DUKUNGAN

TEMAN-TEMAN SEPERJUANGAN TEKNIK MESIN 2010

SOLIDARITY FOREVER

CIVITAS AKADEMIKA TEKNIK MESIN

ALMAMATER TERCINTA

UNIVERSITAS LAMPUNG

2017

**MOTTO**

**“Baik buruknya dari sebuah proses yang menentukan adalah kita sendiri”**

**“Kamu tidak akan pernah berjalan sendirian”**

## SANWACANA

Dengan mengucapkan Alhamdulillahirabbil ‘alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan hidayah-Nya.

Skripsi yang berjudul : “Sifat Termomekanikal dan Ketangguhan Baja AISI 1018 Pada Suhu Tinggi” skripsi ini sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam pelaksanaan dan penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan sumbangan pikiran dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ahmad Su’udi, S.T., M.T. selaku ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

3. Bapak Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T. selaku pembimbing utama tugas akhir saya, terima kasih atas bimbingan, arahan, motivasi dan ilmu yang diberikan selama menyelesaikan tugas akhir penulis.
4. Bapak Zulhanif, S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping tugas akhir saya, terima kasih atas bimbingan, saran, nasehat dan ilmu yang diberikan selama menyelesaikan tugas akhir penulis.
5. Bapak Dr. Irza Sukmana, S.T., M.T selaku dosen penguji, terima kasih banyak atas semua kritikan, saran, motivasi dan nasehat terhadap penulis.
6. Mas Marta, Mas Dadang, Mas Nanang, Mas Wanto, Mas Pur dan Mas Yono yang secara tidak langsung telah banyak sekali membantu dalam proses kelancaran studi, pembentukan bahan, seminar, serta penyelesaian skripsi di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
7. Kedua orang tua yang selalu memotivasi, selalu berdoa, sabar menunggu untuk melihat penulis dapat menyelesaikan studi S-1 di Universitas Lampung.
8. Kakak-kakak (Sonya Yuanita Putri dan Vidiah Piselly) yang telah memotivasi dan mendoakan penulis agar dapat menyelesaikan studi S-1 di Universitas Lampung.
9. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Dian Purnama, Rd. Tommy Riza, Agung Aditya, Wahyu Eka Saputra, Singgih Trenggono, Nanjar Febriyanto, I Nyoman Arnando, Lilik Setiadi, Rabiah Surrianingsih, Hendy Riyanto, Andria Wijaya dan seluruh rekan-rekan Teknik Mesin Universitas Lampung yang turut

membantu dan memberikan dukungan atas tugas akhir ini. Semoga persaudaraan kita selalu terjaga “Mesin Jaya”.

10. Calon pendamping hidup Jevina Gunawan yang selalu berdoa dan bersabar agar penulis dapat menyelesaikan skripsinya dan mendapatkan gelar S.T.

Dan semua pihak yang tidak bisa dapat disebutkan satu persatu, terima kasih penulis ucapkan atas bantuan yang diberikan sehingga dapat terselesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, penulis memohon maaf dan semoga skripsi ini dapat diterima. Harapan penulis semoga skripsi ini bermanfaat dan dapat memberikan informasi untuk seluruh pihak. Semoga kita selalu dalam lindungan-Nya dan senantiasa menjadi orang-orang yang istiqomah berada dijalan-Nya amin.

Bandar Lampung, Desember 2017

Penulis,

Mario Salimor

**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>ABSTRAK</b>	
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	v
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>MOTTO</b> .....	viii
<b>SANWACANA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvi

<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	4
C. Batasan Masalah .....	4
D. Sistematika Penulisan .....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
A. Baja AISI 1018 .....	7
B. Kandungan Baja AISI 1018 dan kandungan baja literatur yang tersedia .....	8
C. Sifat Termomekanikal Baja .....	10
D. Uji Tarik .....	11
E. <i>Scanning Electron Microscopy</i> .....	15
F. Perhitungan Diameter Butir .....	16
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	17
A. Alat dan Bahan .....	17
B. Tempat Penelitian .....	19
C. Prosedur Penelitian .....	19

<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	23
A. Analisis hasil uji dan model yang diusulkan .....	23
B. Modulus Elastis .....	28
C. Kekuatan Luluh .....	31
D. Kekuatan Maksimum .....	33
E. Pengamatan Mikrostruktur dan Fraktal .....	36
F. Pengaruh Ukuran Butir Pada Suhu Tinggi .....	44
<b>V. Simpulan dan Saran</b> .....	48
A. Simpulan .....	48
B. Saran .....	49

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

**DAFTAR TABEL**

Tabel	Halaman
1. Komposisi baja AISI 1018 (LIPI, 2017) .....	23
2. Modulus elastis, kekuatan luluh, kekuatan <i>ultimate</i> baja tarik dingin AISI 1018 pada suhu tinggi dan faktor reduksinya .....	26
3. Data perhitungan OM baja AISI 1018 dengan menggunakan metode <i>Planimetri</i> .....	46

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Baja AISI 1018 hasil proses Tarik dingin bentuk silinder .....	9
2. Mesin Uji Tarik Unila MTS <i>Landmark</i> 100 kN .....	12
3. Kurva tegangan-regangan .....	12
4. Gambar ukuran spesimen uji tarik standar ASTM E 8M-04 .....	17
5. Spesimen uji Tarik baja AISI 1018 dengan menggunakan ASTM E 8M-04	18
6. Jangka sorong .....	18
7. Alat uji tarik MTS <i>Landmark</i> .....	21
8. Hubungan tegangan-regangan untuk baja AISI 1018 yang diuji tarik dari suhu ruangan sampai pada suhu tinggi .....	24
9. Kurva <i>axial force–displacement</i> uji kondisi tunak untuk baja tarik dingin AISI 1018 yang diuji tarik .....	25
10. Perbandingan Modulus elastis, kekuatan luluh, dan kekuatan <i>ultimate</i> antara hasil yang diuji dan model yang diusulkan .....	27

11. Perbandingan faktor reduksi modulus elastis dan hubungan suhu dari literatur penelitian dan standar desain saat ini .....	29
12. Perbandingan faktor reduksi kekuatan luluh dan hubungannya dengan suhu dari literatur penelitian dan standar desain saat ini .....	32
13. Perbandingan faktor reduksi kekuatan maksimum dengan baja canai dingin HS dan American standar desain amerika AISC .....	35
14. Evolusi mikrostruktur tarik dingin AISI 1018 di daerah rekahan setelah uji tarik pada suhu yang berbeda .....	39
15. Pengamatan SEM dari permukaan retakan tarik dingin AISI 1018 setelah uji tarik pada suhu yang berbeda (a) pada RT, (b) 200 °C, (c) 550 °C, dan (d) 750 °C <i>dimple</i> pada permukaan rekahan disorot pada gambar sisi kanan dengan perbesaran lebih tinggi .....	42
16. Perhitungan struktur mikro dengan luas lingkaran 314 mm <sup>2</sup> perbesaran 100x μm (a) 25 °C,(b) 400 °C, (c) 550 °C dan (d) 750 °C .....	45

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Sekarang ini, pengembangan baja karbon rendah yang diproduksi melalui proses tarik dingin (*cold drawing*) telah menjadi subjek penting dalam industri pipa baja dan kawat pra-tekan karena proses tarik dingin lebih efektif dalam meningkatkan kekuatan tarik baja tanpa menurunkan keuletan secara signifikan (Borchers dkk. 2016, Park dkk. 2008). Pipa baja dari hasil proses tarik dingin mempunyai kontribusi terhadap pengurangan bagian area penampang (*cross section*), jarak ruang yang lebih besar, proses fabrikasi dan inspeksi yang lebih mudah (Maraveas dkk. 2017). Penggunaan pipa baja telah menjadi pilihan yang luas pada konstruksi bangunan yang mengutamakan kombinasi struktur ringan dan estetika arsitektur (Yuan dkk. 2016). Oleh karena itu studi sifat mekanik baja tarik dingin pada suhu tinggi sangat penting dilakukan untuk memastikan keamanan desain baja terhadap ketahanan suhu tinggi. Pada kondisi suhu tinggi, sifat mekanis baja akan menurun seiring dengan meningkatnya suhu. Beberapa literatur yang tersedia saat ini termasuk dari beberapa jenis baja, desain standar yang tersedia tidak dapat digunakan untuk memprediksi faktor penurunan sifat mekanik yang akurat terhadap kekuatan luluh dan modulus elastisitas baja tarik dingin pada

suhu tinggi karena menurut Ranawaka dkk. (2009) tidak ada hubungan yang jelas antara modulus elastisitas dan ketebalan baja, namun *grade* baja memiliki pengaruh pada factor reduksi kekuatan luluh. Penurunan sifat mekanik baja pada kondisi suhu tinggi bergantung pada jenis baja (Qiang dkk. 2012). Nilai kekuatan luluh sangat penting untuk digunakan dalam perancangan struktur teknik dimana umumnya kekuatan struktur hanya diterapkan pada daerah elastis pada kondisi lingkungan normal. Namun, ketika dihadapkan dengan beban tak terduga seperti kebakaran, suhu tinggi atau bencana alam seperti gempa bumi, dll, bagian plastis dari material adalah hal yang krusial dalam kemampuan bahan menahan beban tersebut. Selain itu, nilai modulus elastis menunjukkan karakteristik sifat material yang berguna untuk desain menghitung komplain material struktur yang mengikuti hukum Hooke ketika bahan mengalami pembebanan uniaksial.

Pemahaman dan pengetahuan yang lebih baik tentang sifat mekanik baja tarik dingin sangat dibutuhkan untuk pengembangan struktur komponen teknik yang akurat dan hemat biaya selama aplikasikan berbagai jenis kontruksi. Penggunaan sifat mekanik yang akurat untuk baja tarik dingin akan mengarah ke desain yang aman dari struktur baja dalam kondisi suhu tinggi. Yuan dkk. (2016) meneliti sifat mekanik baja Q345 canai dingin pada suhu tinggi dengan menggunakan uji tarik *steady-state* dan *transient*. Berdasarkan hasil pengujian, mereka mengajukan model matematika untuk desain ketahanan pada suhu tinggi dari produk pipa baja Q345. Chen dkk. (2006) melakukan eksperimental uji tarik baja kekuatan tinggi BISPLATE 80 dan baja ringan XLERPLATE grade 350 pada rentang suhu 22 °C–940 °C. Hasil

menunjukkan bahwa faktor reduksi kekuatan luluh dan modulus elastis baja kekuatan tinggi dan baja ringan hampir sama pada kisaran suhu antara 22 °C sampai 540 °C, namun hal ini tidak berlaku pada suhu di atas 540 °C. Qiang dkk. (2012) melaporkan bahwa standar Eropa saat ini dan standar Amerika memenuhi syarat untuk prediksi modulus elastisitas baja karbon rendah berkekuatan tinggi (HSS) S690, namun tidak berlaku untuk memprediksi kekuatan luluh dan kekuatan tertinggi HSS S690 pada standar Eropa dan Amerika.

Dalam beberapa tahun terakhir ini, studi yang terfokus pada pengaruh suhu terhadap sifat mekanik baja tarik dingin AISI 1018 belum pernah dilakukan. Selain itu, saat ini tidak ada standar desain yang dapat digunakan dengan aman untuk melakukan desain ketahanan struktur baja pada suhu tinggi baik untuk baja ringan canai dingin maupun baja canai dingin kekuatan tinggi. Sehingga penulis melakukan penelitian tentang pengaruh suhu terhadap sifat mekanik baja tarik dingin AISI 1018 pada kondisi *steady state*. Untuk perilaku mekanik pada suhu tinggi baja tarik dingin diperoleh model matematika khusus yang diturunkan secara numerik. Selanjutnya hasil pengujian dibandingkan secara komparatif dari beberapa literature (standar Eropa dan Amerika, Yuan dkk. 2016. Ranawaka dkk. 2009, Qiang dkk. 2012, Chen dkk. 2006, Qiang, 2012),.

## **B. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh suhu (100-750 °C) terhadap perubahan sifat mekanik baja tarik dingin AISI 1018 selama pengujian tarik kondisi tunak.
2. Menentukan model matematika untuk memprediksi rasio penurunan sifat mekanik baja AISI 1018 tarik dingin pada kisaran suhu uji.
3. Membandingkan hasil pengujian dengan beberapa literatur dan standar yang tersedia untuk baja tarik dingin, baja ringan canai dingin dan baja kekuatan tinggi canai dingin dengan menggunakan pengujian Tarik keadaan tunak pada suhu tinggi sehingga dapat diketahui kekuatan maksimumnya.

## **C. Batasan Masalah**

Berdasarkan uraian diatas agar penelitian bisa berjalan sesuai dengan tujuan, maka peneliti membatasi masalah penelitiannya sebagai berikut :

1. Penelitian tidak menghitung perubahan elongasi baja selama proses pemanasan dan penahanan suhu.
2. Pada saat pemanasan benda uji, beban dijaga pada kondisi nol beban. Data-data beban pertambahan panjang hanya diperoleh setelah saat kondisi suhu pengujian ditahan selama waktu 35 menit melalui kontrol actuator dengan kecepatan konstan 0.5 mm/min.
3. Proses termomekanik pada baja AISI 1018 menggunakan pengujian tarik dan diberikan suhu yang telah ditentukan dengan menggunakan *furnace*.

## **D. Sistematika Penulisan**

Laporan tugas akhir ini disusun menjadi lima bab. Adapun sistematika penulisannya adalah sebagai berikut :

### **I. PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang , tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

### **II. TINJAUAN PUSTAKA**

Berisikan tentang baja AISI 1018, kandungan baja AISI 1018, sifat termomekanikal baja, uji tarik, *scanning electron microscopy* dan perhitungan diameter butir.

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam bab ini berisikan alat dan bahan, tempat penelitian dan prosedur penelitian.

### **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pembahasan berisikan analisis hasil uji dan model yang diusulkan, modulus elastisitas, kekuatan luluh, kekuatan maksimum, pengamatan mikrostruktur dan fraktral dan pengaruh ukuran butir pada suhu tinggi.

### **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab 5 berisikan simpul dan saran.

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Baja AISI 1018

Baja AISI 1018 adalah baja karbon rendah memiliki kandungan karbon (C) 0,14-0,20 % (<0,30 % C). Baja karbon rendah dikenal secara komersial sebagai baja ringan (*mild steel*). Baja ini banyak digunakan pada berbagai jenis konstruksi: pembangkit listrik, konstruksi bangunan, konstruksi jembatan, bangunan gedung, rangka atap gedung bertingkat dan lain-lain dikarenakan harganya murah, mampu lasnya baik dan tangguh. Kodifikasi baja AISI 1018 sebagai berikut:

AISI 1018 adalah *standard American Iron and Steel Institute*, pada angka 1xxx 1 pada angka pertama adalah baja karbon (*Carbon Steel*), angka 0 menyatakan *plain* (tidak ditambahkan sulfur dan fosfor) dan 18 menunjukkan kadar karbon (C) sekitar 0,18%.

1. Baja AISI 1018 setara dengan JIS (*Japanese Industrial Standards*) G3101 SS (*Structural Steel*) 400, ASTM (*American Society for Testing Materials*) A283 Grade D dan ST 41.
2. Baja ini hampir semua bisa dilakukan dalam pengelasan, mudah dibentuk dan dikerjakan dengan mesin (Matweb, 2016).
3. Kandungan unsur AISI 1018 pada standar *American Iron and Steel Institute* sebagai berikut :

## **B. Kandungan baja AISI 1018 dan kandungan baja literatur yang tersedia**

### 1. Mangan

Kandungan mangan sampai 1% akan sedikit menaikkan kekuatan baja, apabila diatas 1,5% baja akan menjadi getas dan sangat jarang dipakai.

### 2. Fosfor

Fosfor berfungsi untuk menambhah sifat cair baja pada saat meleleh, suhu leleh baja karbon rendah adalah 1400 °C dan kelebihan fosfor menambah kekuatan,daktilitas maupun ketahanan terhadap benturan.

### 3. Silikon

Pada 0.050% silicon tidak mempengaruhi sifat bajanya namun apabila kandungan silicon lebih dari 0,2% kekuatan dan elstias baja sedikit menaik tanpa mengurangi sifat duktilitasnya (Pramono dkk, 2012)



Gambar 1. Baja AISI 1018 hasil proses Tarik dingin bentuk silinder

Pada literatur yang akan dibandingkan terdapat 5 baja karbon rendah yang memiliki kandungan berbeda-beda:

1. Pada penelitian Yuan dkk. (2016) menggunakan baja Q345 dengan karbon 0,18 %, silikon 0,26%, mangan 1,48%, dan fosfor 0,024 %.
2. Penelitian Ranawaka dkk. (2009) baja yang digunakan baja canai dingin memiliki karbon 0,055 %, *silicon* 0,05 %, mangan 0,20 % dan fosfor 0,07 %.
3. Penelitian Qiang dkk. (2012) menggunakan baja karbon rendah berkekuatan tinggi (HSS) S460 dengan kandungan karbon 0,17 %, silikon 0,483 %, mangan 1,5 % dan fosfor 0,012 %.
4. Penelitian Chen dkk. (2006) baja karbon rendah Bisplate 80 dengan karbon 0,16 %, silikon 0,20 %, mangan 1,1% dan fosfor 0,010 %.
5. Pada penelitian Qiang dkk. (2012) menggunakan baja karbon rendah berkekuatan tinggi S690 memiliki karbon 0,16 %, *silicon* 0,210 %, mangan 0,850 % dan fosfor 0,012 %.

### **C. Sifat Termomekanikal Baja**

Sifat termomekanikal mempelajari sifat suatu material dalam perubahan bentuk (deformasi) dan penerimaan suhu untuk *specimen* yang diuji. Pada penelitian Rokhmanto dkk. (2016) dengan menggunakan proses termomekanik pada *specimen* ingot paduan Ti-6Al-6Mo ukuran butir lebih kecil dan memiliki fasa alfa yang lebih dominan dibandingkan fasa beta. Proses termomekanikal dirancang untuk meningkatkan sifat mekanik suatu bahan dengan mengontrol proses deformasi dan pemanasannya untuk menghasilkan bentuk eksternal yang diperlukan dari produk (Tamura dkk, 2013).

Adapun proses termomekanikal *aging* yang digabungkan dengan perlakuan *aging* dan *rolling*. Pada proses termomekanikal *aging* dengan menggunakan spesimen aluminium, kekuatan fatigue aluminium meningkat dilihat pada mikrostrukturnya (Sujita, 2008).

Dua penjelasan proses termomekanikal sebagai berikut:

#### 1. Proses *Thermal*

Pada proses termal logam diberikan pemanasan dengan suhu tertentu agar dapat mengubah sifat logam menjadi pelunakan (*softening*) atau pengerasan (*hardening*). Pada pelunakan logam mengalami penurunan sifat mekanik logam dengan cara pendinginan tertutup (*annealing*) atau pendinginan terbuka (*normalizing*) dan pada pengerasan, logam yang sudah diperlakukan pemanasan didinginkan dengan media air, air garam dan logam sehingga meningkatkan sifat logam.

#### 2. Proses Mekanik

Proses mekanik adalah proses perubahan bentuk suatu material dengan cara pemotongan, pemutusan, pengerolan dan penempaan sehingga dapat mengetahui sifat mekanik material tersebut. Proses mekanik yang digunakan penelitian ini adalah uji tarik (Nukman, 2009).

### **D. Uji Tarik**

Pengujian tarik digunakan untuk mengetahui sifat termal dan sifat mekanik suatu benda tersebut yang mengalami deformasi suatu bahan. Uji tarik adalah

pengujian suatu benda agar dapat mengetahui kekuatannya dengan cara menarik dikedua sisi ujung benda secara perlahan sampai terputus. Kekuatan adalah saat bahan menerima tegangan namun tidak mengalami farktur, sehingga dapat diketetahui kekuatan tarik, kekuatan tekan pada spesimen yang diuji. Pada saat prosesnya benda diberi beban sehingga mengalami tegangan-regangan dan perpanjangan material yang bertambah (Murtiono, 2012).



Gambar 2. Mesin uji Tarik Unila MTS *landmark* 100 kN

Pada pengujian tarik hasil tegangan regangan baja dapat dilihat dengan kurva sebagai berikut:



Gambar 3. Kurva tegangan-regangan (Murtiono, 2012)

Pada gambar 3 kurva tegangan-regangan, tegangan baja diberi simbol ( ) dan regangan ( ). Dengan rumus sebagai berikut:

### 1.1 Tegangan.

Tegangan disebut juga perbandingan beban tarik yang bekerja terhadap luas penampang.

Rumus tegangan tarik:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

$\sigma$  = Tegangan tarik (MPa)

F = Beban Tarik (kN)

A = Luas Awal Penampang (mm<sup>2</sup>)

## 1.2. Regangan

Regangan adalah perubahan bentuk bahan setelah terputus atau patah sehingga batang bahan mengalami perpanjangan. Untuk mendapatkan hasil dari regangan panjang awal benda uji di kurang panjang akhir setelah itu dibagi dengan panjang akhir.

$$= \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

= Regangan (%)

$L_o$  = Panjang Awal (mm)

$L_f$  = Panjang Akhir (mm). (Saputra dkk, 2014)

## 1.3. Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas atau modulus *Young* didefinisikan oleh Thomas Young pada tahun 1807. Modulus Elastisitas didapat dengan membandingkan antara tegangan dan regangan pada kondisi bahan masih bersifat elastis (linier). Pada suhu tinggi modulus elastisitas mengalami penurunan drastis (Qiang dkk. 2012).

Rumus modulus elastisitas sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

E : Besar Modulus Elastisitas (MPa)

: Tegangan (MPa)

; Regangan (Vliet. 1984)

#### 1.4. Kekuatan Luluh

Kekuatan luluh adalah pada saat spesimen atau bahan diberikan beban mekanik mampu menahan deformasi plastik. Dari titik 0 sampai dengan regangan total garis offset tegangan luluh diambil 0,2 %. (Heirdarpour dkk. 2014)

#### 1.5 Kekuatan Maksimum

Kekuatan maksimum adalah kemampuan suatu bahan yang diberikan beban sehingga mencapai batas tegangan maksimum yang mengakibatkan bahan tersebut mengalami perpatahan atau keretakan. (Ranawaka dkk. 2009)

### **E. *Scanning Electron Microscopy***

*Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas electron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Pengujian yang telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui gambar struktur mikro pada baja AISI 1018. Struktur mikro didapatkan dengan membaca berkas elektron yang pada permukaan benda atau material disinari dengan pantulan cahaya berintensitas tinggi. Dari penelitian permukaan spesimen yang dilakukan berulang kali, berkas elektron tersebut terlihat seperti noda kecil yang ukurannya pada umumnya 1 nm. Dari penggambaran permukaan spesimen yang terlihat diambil gambarnya kemudian dilakukan analisa untuk mengetahui keadaan atau kerusakan pada spesimen tersebut. Dengan adanya *Scanning Electron Microscopy* (SEM) sangat membantu mempermudah dalam mengamati dan

membuat analisa karena *Scanning Electron Microscopy* (SEM) memberikan gambaran yang nyata dari bagian terkecil specimen. (Priyatomo, 2005)

## F. Perhitungan Diameter Butir.

Untuk menghitung Diameter Butir terdapat beberapa Metode. Salah satunya adalah dengan menggunakan Metode Planimetri yang dikembangkan oleh Jeffries. Metode ini dapat menentukan jumlah butir persatuan luas pada bidang-bidang yang dapat dihubungkan pada standar ukuran butir ASTM E 112 (Murtiono, 2012). Jumlah butir pada metode planimetri ini adalah  $N_a$ , untuk mengetahui jumlah butir dengan cara persamaan sebagai berikut.

$$N_a = f \left( N_{inside} + \frac{N_{intercepted}}{2} \right) \dots\dots\dots(4)$$

Dimana  $N_a$  = Jumlah butir

$f$  = pengali *Jeffries*

$N_{inside}$  = jumlah butir bagian dalam lingkaran

$N_{intercepted}$  = setengah jumlah butir yang bersinggungan

Setelah jumlah butir diketahui ukuran diameter butir dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$D = (3,322 \log N_a) - 2,95 \dots\dots\dots(5)$$

### III. METODE PENELITIAN

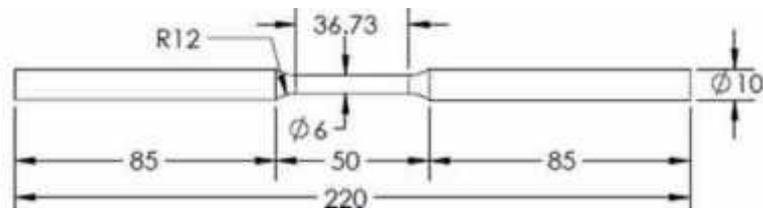
#### A. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang dipergunakan dalam pelaksanaan tugas akhir :

##### 1. Benda Kerja

Benda kerja untuk penelitian adalah baja karbon rendah AISI 1018.

Spesimen uji tarik. Dengan menggunakan standar ASTM E8M.



Gambar 4 . Gambar ukuran spesimen uji tarik standar ASTM E 8M-04.

Dimana: *Gage length* = 36.73 mm

*length of reduced section* = 50 mm

diameter dalam = 6 mm

diameter luar = 10 mm

total panjang keseluruhan = 220 mm



Gambar 5. Spesimen uji Tarik baja AISI 1018 dengan menggunakan ASTM E 8M-04

## 2. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Mikroskop elektron Carl Zeiss series EVO MA 10 dengan *secondary electron image* (SEI) digunakan untuk mengamati permukaan patahan spesimen setelah uji.

## 3. Foto mikro

Mikrostruktur baja pada daerah patahan dan gage length diambil menggunakan mikroskop optik (Olympus) dengan perbesaran 50-200  $\mu\text{m}$

## 4. Jangka sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur diameter *specimen*.



Gambar 6. Jangka sorong digital.

## 5. Alat Uji Tarik

Pengujian tarik merupakan proses pengujian yang menunjukkan perilaku bahan selama proses pembebanan. Pada uji tarik, benda uji di beri beban gaya tarik, yang bertambah secara kontinyu, bersamaan itu di lakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji. Untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dari suatu material, maka yang harus dilakukan adalah melakukan pengujian terhadap material tersebut.

### **B. Tempat Penelitian.**

1. Pembentukan spesimen uji tarik dilakukan di Pusat Pengembangan Pendidikan Teknik Kejuruan (P3TK) Departemen Teknik Mesin, Malang.
2. Pengujian tarik dilakukan dilab material Unila.
3. Pengujian SEM baja AISI 1018 tarik dingin di UPT. Laboratorium terpadu dan sentra inovasi teknologi Universitas Lampung.
4. Mikrostruktur baja diuji dilaboratorium Intitut Teknologi Bandung.

### **C. Prosedur Penelitian**

Prosedur pengambilan data dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu :

1. *Study Literature*

Pada penelitian ini, proses yang dilakukan adalah dengan mengumpulkan data awal sebagai *study literature*. *Study literature* bertujuan untuk mengenal masalah yang dihadapi, serta untuk menyusun rencana kerja yang akan dilakukan. Pada *study* awal dilakukan langkah-langkah seperti *survey* lapangan yang berhubungan dengan penelitian yang ingin dilakukan serta mengambil data-data penelitian yang sudah ada sebagai pembanding terhadap hasil pengujian yang akan dianalisa.

## 2. Pembentukan specimen uji tarik

Pembentukan spesimen uji tarik ini dilakukan dengan menggunakan mesin CNC Emcotronin TMO2 Made Austria di Pusat Pengembangan Pendidikan Teknik Kejuruan (P3TK) Departemen Teknik Mesin, Malang.

## 3. Persiapan benda uji.

Material yang akan diuji pada penelitian ini adalah baja AISI 1018. Pada pengujian Tarik dengan metode uji *steady state* dengan variasi temperatur : 25° C, 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C, 650 °C, 700 °C dan 750 °C.

## 4. Uji Tarik

Pada Uji tarik dalam suhu kamar (RT = ~25 °C), regangan diukur dengan menggunakan aksial extensometer model MTS 634.13F-20, dengan frekuensi sampling 10 Hz. Dalam uji *steady state*, laju pemanasannya 20 °C/menit. Suhu spesimen dicatat dengan menggunakan dua termokopel (seri

XCIB dari Omega) yang menempel pada setiap ujung bagian spesimen sesuai dengan ASTM E21 (ASTM E21. 2005), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Alat uji tarik MTS Landmark

Uji steady state memiliki 10 tingkat suhu: 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C, 650 °C, 700 °C dan 750 °C. Pada awal uji *steady state*, spesimen pertama kali dipanaskan hingga suhu yang telah ditentukan sebelumnya dan dibiarkan bertahan selama 35 menit pada suhu konstan. Selama proses pemanasan dan penahanan suhu, ekspansi *thermal* dari

spesimen dibiarkan dengan menetapkan beban tarik 0. Kemudian, beban tarik diberikan pada tingkat perpindahan konstan hingga mencapai kegagalan sembari mempertahankan suhu yang telah ditentukan sebelumnya. Kontrol perpindahan digunakan dengan laju 0,5 mm/menit, dan laju regangan yang diperoleh dari ekstensometer sekitar 0,007/menit untuk memenuhi persyaratan ASTM E21 (ASTM E21. 2005). Ekstensometer aksial temperatur tinggi Model MTS 632.54F-14 digunakan dengan frekuensi sampling 10 Hz. Semua percobaan diulang tiga atau lima kali. Untuk menghindari kerusakan batang alumina ekstensometer, titik pelepas ekstensometer dipasang hingga 0,02 *mm/mm*. Pada hasil di titik ini, semua regangan tambahan hanya dicatat hingga 0,02 *mm/mm* untuk menggambarkan kurva tegangan vs regangan. Setiap data yang diperoleh dari tiap uji tarik spesimen pada temperatur tinggi dipilih berdasarkan hipotesis kompatibilitas  $R^2 > 95\%$  yang diperoleh dari regresi polinomial kurva faktor reduksi - temperatur.

## **V. Simpulan dan Saran**

### **A. Simpulan**

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil uji tarik suhu ruangan (25 °C ) baja memiliki kekuatan Tarik adalah 554.044 MPa, namun pada suhu 100 °C, 200 °C dan 400 °C baja mengalami penurunan kekuatan tarik, kemudian kekuatan Tarik baja meningkat pada suhu 500 °C sebesar 585.249 MPa.
2. Factor reduksi kekuatan luluh baja tarik dingin AISI 1018 pada rentan suhu 100 °C–400 °C berlaku untuk standar Eropa dan Amerika namun tidak berlaku diatas suhu 400 °C . Sehingga baja tarik dingin tidak direkomendasikan untuk aplikasi suhu tinggi, hanya baja canai dingin yang bisa diprediksi secara akurat pada standar Eropa dan Amerika.
3. Faktor reduksi sifat mekanik baja yang diperoleh dari penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (CFS dan HSS) dan standar desain Eropa dan Amerika saat ini. Ditemukan bahwa tidak ada standar desain saat ini yang dapat digunakan dengan aman untuk melakukan desain tahan suhu tinggi atau evaluasi struktur baja tarik dingin. Selanjutnya, penurunan sifat mekanik baja CDS pada suhu tinggi berbeda

pada karakteristik mikro dan kegagalan. Kandungan karbon tinggi dalam bentuk partikel sementit dengan matriks ferit dan proses restorasi, bertanggung jawab terhadap fenomena DSA dan penurunan sifat mekanik CDS AISI 1018.

## **B. Saran**

Adapun saran dari hasil pembahasan penelitian ini adalah perlu adanya penelitian selanjutnya dengan menggunakan baja Tarik dingin selain AISI 1018 agar dapat mengetahui adakah standar desain baja tarik dingin yang tahan terhadap struktur baja suhu tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- AISC 360. 2005. *Spesification for Structural Steel Building*, American Institute of Steel Contruction Inc, United States of America.
- Arabshahi, H. 2010. *Effect of Thermo-Mechanical Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of Microalloyed Steels*. *Brazilian Journal of Physics*, Desember, Volume 40, No. 40.
- ASTM E8. 2004, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, West Conshohocken, United States.
- ASTM E111. 2004, *Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus*, West Conshohocken, United States.
- Chen, B, J. Young dan Brian Uy. 2006, *Behavior of high strength structural steel at elevated temperatures*, *J. Struct. Eng.*.132:1948-1954.
- ECCS Eurocode Design Manuals .2012, *Eurocode 3: Design of steel structures, part 1–2, Structural high temperature design, European Convention for Constructional Steelworks*, 1<sup>st</sup> E-edition.
- Matweb. 2016. [http://www.matweb.com/search/datasheet\\_print.aspx?matguid=e60983fcde914b278ceffebb946995e6](http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=e60983fcde914b278ceffebb946995e6). Diakses pada 13 November 2017

- Murtiono, A. 2012. Pengaruh Quenching dan Tempering Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Untuk Mata Pisau Pemanen Sawit. *Jurnal e-Dinamis*, September, Volume II, No.2.
- Nukman, 2009. Ketangguhan Beban Impak dan Beban Tarik Maksimum Pada Pelat Baja Berlapis Akibat *Quenching* dan *Normalizing*, *Jurnal Rekayasa Mesin*, November, Vol.9 No.3.
- Pramono, D dan Suryadi, HS. 1998. *Seri Diktat Kuliah Bahan Kontruksi Teknik*, Gunadarma, Jawa Barat, 54 hlm.
- Priyotomo, G. 2005. Karakterisasi Awal Kegagalan Material Baja Karbon Rendah Akibat Korosi Atmosfer Di Lingkungan Industri. *Korosi*, Volume 14, No. 1.
- Qiang, X. Bijlaard, H dan Kolstein. 2012. *Dependence Of Mechanical Properties Of High Strength Steel .S690 On Elevated Temperatures. Contruction and Building Materials*. 30, 73-79.
- Qiang, X, Bijlaard, H. Kolstein. 2012. *Deterioration of mechanical properties of high strength structural steel S460N under steady state high temperature condition*, *Mater. Des*, 36, 438.
- Ranawaka, M. Mahendran. 2009. *Experimental study of the mechanical properties of light gauge cold-formed steels at elevated temperatures, High temperature Saf. J*, 44, 219.
- Rokhmanto, F. Senopati, G dan Sutowo, C. 2016. *Perlakuan Termomekanikal Ingot Paduan Ti-Al-Mo. Jurnal UMJ*. November, p-ISSN : 2407 – 1846.

Sujita. 2008. Perilaku Kekuatan Fatigue Paduan Alumunium Seri 2014 Akibat Proses Termomekanikal Aging. *Jurnal Ilmiah Teknik Cakram*, Volume 2, No. 2 , (103-106).

Sutrisna. 2012. Pengaruh Suhu Normalizing Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Pengelasan Baja Plat Kapal. *Traksi*.Volume 9. No. 2.

Yuan, Q. Shu, Z. Huang, Q dan Li. 2016. *An experimental investigation of properties of Q345 steel pipe at elevated temperatures*. J. Constr. Steel Res. 118, 41.