

**ANALISIS KEKUATAN *STRAIN* DAN *STRESS* PADA BAJA PADUAN
DENGAN MENGGUNAKAN *TENSILE TEST MACHINE***

SKRIPSI

**Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta Untuk Memenuhi Sebagian
Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains**



**Disusun oleh:
EKA MAULANA BADARIN LATAMA PUTRA
14306141035**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2018**

PERSETUJUAN

Skripsi ini berjudul “*Analisis Kekuatan Strain dan Stress Pada Baja Paduan dengan Menggunakan Tensile Test Machine*” yang disusun oleh Eka Maulana Badarin Latama Putra, NIM 14306141035 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Yogyakarta, 20 Maret 2018

Pembimbing I,

(Fernandez, ST)
T494875

Pembimbing II,

(Dr. Ariswan)
NIP 195909141988031003

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

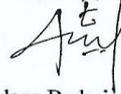
Nama : Eka Maulana Badarin Latama Putra
NIM : 14306141035
Jurusan / Prodi : Pendidikan Fisika / Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul : Analisis Kekuatan *Strain* dan *Stress* pada Baja Paduan
dengan Menggunakan *Tensile Test Machine*

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian ini benar – benar karya saya sendiri, sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah atau tugas akhir skripsi yang telah lazim.

Pernyataan ini oleh penulis dibuat dengan penuh kesadaran dan apabila ternyata terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

Yogyakarta, 27 Maret 2018

Yang menyatakan,



Eka Maulana Badarin Latama Putra

NIM 14306141035

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Analisis Kekuatan *Strain* dan *Stress* pada Baja Paduan dengan Menggunakan *Tensile Test Machine*” yang disusun oleh Eka Maulana Badarin Latama Putra, NIM 14306141035 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 11 April 2018..... dan dinyatakan LULUS.

DEWAN PENGUJI			
Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Fenandez, S.T</u> T494875	Ketua Penguji		14-09-2018
<u>Dr. Ariswan</u> NIP. 195909141988031003	Sekretaris Penguji		29-09-2018
<u>Dr. Warsono</u> NIP.196811011999031002	Penguji I (Utama)		18-09-2018

Yogyakarta, 29-9-2018

Fakultas Matematika dan Ilmu

Pengetahuan Alam

Dekan,



Dr. Hartono

NIP. 19620329198702 1 002

MOTTO

“ Hidup ini penuh perjuangan tanpa perjuangan kita tidak akan menjadi yang diinginkan ”

- Eka Maulana Badarin Latama Putra

“ Keberhasilan bukanlah milik orang yang pintar. Keberhasilan adalah kepunyaan mereka yang senantiasa berusaha ”

- BJ Habibie.

“Bermimpilah setinggi langit, jika engkau jatuh ,engkau akan jatuh diantara bintang-bintang”

- Ir. Soekarno

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir Skripsi ini ku persembahkan teruntuk :

- ♥ Allah S.W.T, atas karunia, rahmat, dan hidayahnya yang telah diberikan,
- ♥ Kedua orang tua yang selalu memberikan doa, semangat, dukungan, motivasi, dan banyak hal dalam kehidupan yang sangat berarti,
- ♥ Keluargaku yang selalu mendukung dan memotivasi setiap langkah yang kuambil
- ♥ My Sweetheart yang selalu memberikan dukungan, doa, motivasi, semangat, dan canda tawa serta kasih sayang dan kesabaran.
- ♥ Teman – teman seperjuangan Skripsi Material Logam yang selalu saling mengingatkan, berbagi ilmu, canda tawa, dan saling menyemangati, Risky Hidayat Santoso Putra dan Saedatul Fatimah,
- ♥ Keluarga Besar PT. Petrokimia Gresik, Khususnya Inspeksi Teknik Khusus (ISTEKSUS), atas ilmu dan pengalaman yang telah diberikan,
- ♥ Keluarga Besar Fisika Angkatan 2014, Khususnya FISIKA B 2014,
- ♥ Keluarga Besar KSIMIST FMIPA UNY yang telah memberikan banyak ilmu dan kekeluargaan yang indah,
- ♥ Temen KKN 03 yang selalu memberikan dorongan, motivasi dan semangat.

ANALISIS KEKUATAN *STRAIN* DAN *STRESS* PADA BAJA PADUAN DENGAN MENGGUNAKAN *TENSILE TEST MACHINE*

Oleh
Eka Maulana Badarin Latama Putra
14306141035

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik mekanik dan kimia logam baja paduan produksi PT. Petrokimia Gresik dan melakukan analisis kekuatan *Strain* dan *Stress* masing-masing logam baja paduan.

Data penelitian diperoleh melalui hasil uji kekuatan logam menggunakan *Tensile Test Machine* dengan besarnya nilai *Force* dan *Strain* dan kandungan Peak, besar nilai Energi Eksitasi dan Presentase kandungan unsur dengan menggunakan XRF XL-2 GOLDD berbasis *X-Rays Fluoresence* (XRF) dan Arc Met 8000 berbasis *Optical Emission Spectroscopy*. Karakteristik didasarkan pada analisis dari Grafik perbandingan *Force* dan *Strain* yang diolah melalui aplikasi Origin50 versi 6.1.

Hasil penelitian ini adalah : (1) Kekuatan tarik logam SS 304 adalah 342,20 kg/cm², SS 310 adalah 260,60 kg/cm² dan *Low Alloy* adalah 201,90 kg/cm². (2) Kekuatan *Stress* dan *Strain* dari logam uji SS 304 adalah nilai *Strainnya* sebesar 11 dengan nilai *Stress* 3.422 x 10⁴ N/m², SS 310 dengan nilai *Strainnya* sebesar 12 dengan nilai *Stress* 2.675 x 10⁴ N/m² dan *Low Alloy* nilai *Strainnya* sebesar 6 dengan nilai *Stress* 2.019 x 10⁴ N/ m². (3) Pola patahan logam untuk SS 304 berupa patahan getas, logam SS 310 berupa patahan ulet sementara *Low Alloy* berupa patahan getas (4) pengujian menggunakan Niton XL2 GOLDD(instrument bekerja sesuai prinsip XRF) adalah logam SS 304 ini memiliki Cr 17,96033 %, Si 2,05% , Mn 1,31733% dan Ni 7,703%. Logam SS 310 kandungan Ni 19,3255%, Cr 23,896%, Mo 0,1125%, Mn 1,5115% dan Si 1,0665%. Logam *Low Alloy* kandungan Ni 0,09%, Cr 0,9%, Mo 0,459%, Mn 0,466333% dan Si 0,088333%. dan Arc Met 8000(instrument yang bekerja sesuai prinsip OES) didapatkan hasil pengujian logam 304 diperoleh komposisi logam yaitu Si 0,588%, Cr 19,378%, Ni 6,973% , C 0,177%, Mn 1,554% dan Mo 0,098%, logam SS 310 diperoleh komposisi logam yaitu Si 1,23%, Cr 29,38%, Ni 15,48% , C 0,78%, Mn 1,44% dan Mo 0,176% dan logam *Low Alloy* diperoleh komposisi logam yaitu Si 2,71%, Cr 1,11%, Ni 0,27 % , C 1,52%, Mn 0,54% dan Mo 0,32%.

Kata Kunci : *Strain dan Stress*, Karakteristik Logam, Kandungan Unsur Logam,
XRF, OES

STRENGTH ANALYSIS OF STRAIN AND STRESS ON ALLOY STEEL USING *TENSILE TEST MACHINE*

By
Eka Maulana Badarin Latama Putra
143061414035

ABSTRACT

This research aims to determine the characteristics of Alloy Steel at PT. Petrokimia Gresik and analyze the strength of Strain and Stress of each Alloy Steel.

The research data was obtained through the test of metal strength using Tensile Test Machine with the value of Force and Strain and Peak content or the value of Energy Excitation and Presentation of element content by XRF XL-2 GOLDD based on X-Rays Fluorescence (XRF) and Arc Met 8000 based Optical Emission Spectroscopy. Characteristics are based on the analysis of the Force and Strain comparison graphs processed through the Origin50 application version 6.1.

The results of this research are: (1) Tensile strength of SS 304 metal is 342,20 kg / cm², SS 310 is 260,60 kg / cm² and Low Alloy is 201,90 kg / cm². (2) Strength of Stress and Strain of SS 304 test metal is the value of Strain is 11 with Stress value 3.422×10^4 N / m², SS 310 with Strain value of 12 with Stress value 2.675×10^4 N / m² and Low Alloy value of Strain is 6 with a value of Stress 2.019×10^4 N / m². (3) Metal fracture pattern for SS 304 in the form of brittle fracture, metal SS 310 in the form of ductile fracture while Low Alloy in the form of brittle fracture (4) testing using Niton XL2 GOLDD (instrument working according to XRF principle) is metal SS 304 has Cr 17,96033 %, Si 2.05%, Mn 1.31733% and Ni 7.703%. Metal SS 310 content of 19,3255% Ni, Cr 23,896%, Mo 0.1125%, Mn 1.5115% and Si 1.0665%. Metals Low Alloy Ni content of 0.09%, Cr 0.9%, Mo 0.459%, Mn 0.466333% and Si 0.088333%. and Arc Met 8000 (instrument that works according to OES principle) obtained metal test result 304 obtained by metal composition that is 0,588%, Cr 19,378%, Ni 6,973%, C 0,177%, Mn 1,554% and Mo 0,098%, metal SS 310 obtained composition the metal is Si 1.23%, Cr 29.38%, Ni 15.48%, C 0.78%, Mn 1.44% and Mo 0.176% and metals Low Alloy obtained metal composition of Si 2.71%, Cr 1.11%, Ni 0.27%, C 1.52%, Mn 0.54% and Mo 0.32%.

Keywords: Strain and Stress, Metal Characteristics, Metal Elements Content, XRF, OES

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Tugas Akhir Skripsi yang berjudul “Analisis Kekuatan *Strain* dan *Stress* pada Baja Paduan dengan Menggunakan *Tensile Test Machine* dapat terselesaikan dengan baik. Penelitian ini merupakan penelitian kerjasama antara PT. PETROKIMIA GRESIK dengan Prodi Fisika, Jurusan Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta. Hasil penelitian ini akan digunakan sebagai data awal dalam pengambilan kebijakan bagi Pabrik Pupuk dan Bahan Kimia PT. PETROKIMIA GRESIK dalam mengawasi dan melakukan pencegahan korosi di dalam proses produksi di pabrik.

Pada kesempatan ini, penulis tidak lupa menyampaikan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu, memberi pengarahan, bimbingan, serta dukungan. Ucapan terima kasih ini saya haturkan kepada :

1. Bapak Prof.Dr. Sutrisna Wibawa, selaku Rektor Universitas Negeri Yogyakarta.
2. Bapak Dr. Hartono, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.
3. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si, selaku Kepala Jurusan Pendidikan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.
4. Bapak Drs. Nur Kadarisman, M.Si, selaku Kepala Prodi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.
5. Bapak Fernandez ,ST, selaku Pembimbing I Tugas Akhir Skripsi di PT. PETROKIMIA GRESIK yang telah memberikan arahan dalam proses pengambilan data dan pengolahannya selama berjalannya penelitian dan penyusunan tugas akhir ini dengan baik.

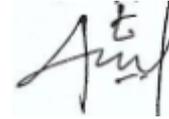
6. Bapak Dr. Ariswan, selaku Pembimbing II Tugas Akhir Skripsi di Universitas Negeri Yogyakarta yang telah membimbing dan memberikan pengarahan selama berjalannya penelitian sampai penyusunan tugas akhir ini dengan baik.
7. Bapak Bambang Ruwanto, M.Si, selaku Pembimbing Akademik (PA) kami yang selalu mengarahkan yang terbaik bagi kami dan banyak memberikan arahan terkait perkuliahan di Prodi Fisika UNY.
8. Bapak dan Ibu tercinta, atas segala doa, dukungan dan kasih sayangnya.
9. Staff dan Karyawan PT. PETROKIMIA GRESIK khususnya bagian Inpeksi Teknik Khusus (ISTEKSUS) yang menyediakan waktu bagi saya jika dalam pelaksanaan proses pengambilan dan pengolahan data ini saya mengalami kesulitan.
10. Seluruh Staff Dosen dan Karyawan Jurusan Pendidikan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta yang telah banyak membantu selama perkuliahan.
11. Tim Penelitian Material Logam, Risky Hidayat Santoso Putra dan Saedatul Fatimah, terima kasih atas bantuan tenaga dan pikiran yang telah diberikan selama ini.
12. Teman – teman Fisika B 2014, atas seluruh bantuan, kerjasama, pengalaman, canda tawa yang telah diberikan, serta saling mendoakan yang terbaik satu sama lain.
13. Keluarga besar KSIMIST atas inspirasi dan suntikan semangat yang telah kalian berikan.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam menyelesaikan penelitian dan penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan penelitian selanjutnya. Meski demikian kami tetap berharap bahwa dengan penulisan ini, dapat memberikan wawasan dan pemahaman mengenai masalah proses pengujian kekuatan tarik dan komposisi material logam baja paduan. Semoga tugas akhir ini

dapat bermanfaat bagi perusahaan, kemajuan ilmu pengetahuan dan dunia pendidikan, terutama fisika, serta bagi teman-teman mahasiswa pada khususnya.

Amin

Yogyakarta , 27 Maret 2018

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Eka', written on a light blue rectangular background.

Eka Maulana Badarin Latama Putra

DAFTAR ISI

	Hal
SAMPUL JUDUL	i
PERSETUJUAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
PENGESAHAN	iv
MOTTO.....	v
PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II. KAJIAN TEORI	
A. Logam	8
B. <i>Optical Emission Spectroscopy</i>	12
C. <i>Arc Met 8000</i> (Instrumen Pengujian dengan Teknik <i>OES</i>)	14
D. <i>X-Ray Fluorescences</i>	18
E. <i>XRF XL2-GOLDD</i> (Instrumen Pengujian <i>XRF</i>)	23
F. <i>Tensile Test Machine</i> (Mesin Uji Tarik)	25
1. <i>Stress</i> (Tegangan)	27
2. <i>Strain</i> (Regangan)	28

3. Modulus Elastisitas	29
4. Deformasi Elastis	31
5. Deformasi Plastis	33
6. Pola Patahan Getas	37
7. Pola Patahan Ulet	39
BAB III. METODE PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat Penelitian	42
1. Waktu Penelitian	42
2. Tempat Penelitian	42
B. Variabel Dalam Penelitian	42
1. Variabel Bebas	42
2. Variabel Kontrol	43
3. Variabel Terikat	43
C. Bahan dan Alat Penelitian	43
1. Bahan Penelitian	43
2. Alat Penelitian	43
D. Langkah Penelitian	44
1. Tahap Penentuan Spesimen	44
2. Tahap Pengujian <i>Tensile</i> dengan Menggunakan <i>Tensile Test Machine</i>	45
3. Tahap Karakterisasi Kandungan Unsur Kimia dengan Menggunakan <i>XRF</i>	45
4. Tahap Karakterisasi Kandungan Unsur Kimia dengan Menggunakan <i>OES</i>	47
E. Analisis Data	47
F. Diagram Alir Penelitian	48
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Pengujian Tarik Logam SS 304, SS 310 dan <i>Low Alloy</i> dengan <i>Tensile Test Machine</i>	49
B. Karakterisasi Komposisi Kandungan Kimia Logam SS 304, SS 310 dan <i>Low Alloy</i>	58

1. Karakterisasi Komposisi kandungan Kimia Logam SS 304, SS 310 dan <i>Low Alloy</i> dengan <i>XRF(X-Ray Fluorescence)Niton XL2 GOLDD</i>	58
2. Karakterisasi Komposisi Kandungan Kimia Logam SS 304, SS 310 dan <i>Low Alloy</i> dengan <i>Arc Met 8000</i>	67
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	72
A. Kesimpulan	72
B. Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	75

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 1. Contoh Logam Baja	8
Gambar 2. Contoh eksitasi pada <i>OES</i>	13
Gambar 3. Prinsip kerja <i>Arctmet 8000</i>	16
Gambar 4. Prinsip kerja <i>X-Ray Fluorescence</i>	20
Gambra 5. Terbentuknya K-alpha dan K-Beta	22
Gambar 6. Contoh Instrumen <i>XL2 Goldd</i>	23
Gambar 7. Preparasi Logam Uji Pada <i>Tensile Test</i>	26
Gambar 8. Perubahan Logam Uji Pada Mesin Uji Tarik	27
Gambar 9. Grafik Antara <i>Strain</i> dan <i>Stress</i>	31
Gambar 10. Konsep kekakuan modulus elastisitas pada material	32
Gambar 11. Daerah deformasi grafik tegangan dan regangan	34
Gambar 12. Fenomena titik luluh baja karbon rendah	35
Gambar 13. Pola patahan getas	38
Gambar 14. Pola patahan ulet pada logam	39
Gambar 15. Grafik <i>Tensile Test</i> SS 304, SS 310 dan <i>Low Alloy</i>	55
Gambar 16. Grafik Hubungan <i>Strain</i> dan <i>Stress</i>	56
Gambar 17. Hasil spektrum logam SS 304	59
Gambar 18. Hasil spektrum logam SS 310	61
Gambar 19. Hasil spektrum logam <i>Low Alloy</i>	63

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 1. Standar Pengujian Tensile Logam	50
Tabel 2. Data diameter awal, panjang awal dan batas jarak putus logam uji SS 304, SS 310 dan <i>Low Alloy</i>	51
Tabel 3. Data Hasil pengujian diameter akhir, panjang akhir, kekuatan tarik, Stress, Strain dan Modulus Elastisitas dari logam uji SS 304, SS 310 dan <i>Low Alloy</i>	52
Tabel 4. Hasil <i>Tensile Test</i> SS 304	53
Tabel 5. Hasil <i>Tensile Test</i> SS 310	54
Tabel 6. Hasil <i>Tensile Test</i> <i>Low Alloy</i>	54
Tabel 7. Hasil pengukuran kekuatan tarik logam SS 304, SS 310 dan <i>Low Alloy</i>	55
Tabel 8. Peak dan Presentase Komposisi Kimia SS 304	61
Tabel 9. Peak dan Presentase Komposisi Kimia SS 310	62
Tabel 10. Peak dan Presentase Komposisi Kimia <i>Low Alloy</i>	64
Tabel 11. Hasil uji OES SS 304	68
Tabel 12. Hasil uji OES SS 310	68
Tabel 13. Hasil uji OES <i>Low Alloy</i>	69

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia dikenal sebagai negara maritim karena terdiri dari pulau-pulau dan lautan dengan luas wilayah lautan yang lebih besar dari pulunya yaitu rasio perbandingannya 70% dibanding 30%. Hal ini dapat dimanfaatkan dalam peningkatan perekonomian baik melalui sektor kelautan maupun sektor perindustrian. Pertumbuhan perindustrian di Indonesia sangat pesat karena dapat dukungan dari pemerintah melalui program investasi.

Indonesia harus berpikir dalam kerangka industri bukan lagi tergantung pada komoditas. Indonesia harus menjadi negara industri dengan manufaktur yang kompetitif. (Bambang Brodjonegoro,2016).

Dilihat dari angka pertumbuhan industri di Indonesia berdasarkan laporan statistik berjudul “International Yearbook of Industrial Statistics 2016”, industri manufaktur di Indonesia dilaporkan telah memberikan kontribusi hampir seperempat bagian dari produk domestik bruto (PDB) nasional. Bahkan Direktur Jenderal Organisasi Pengembangan Industri Perserikatan Bangsa-Bangsa (UNIDO) mengakui Indonesia sebagai negara urutan ke-10 dunia di industri manufaktur. “Berdasarkan laporan UNIDO, saat ini Indonesia berhasil mencapai peringkat 10 besar negara industri manufaktur di dunia atau *top ten manufacturers of the world* (Li Yong,2016). Salah satu industri yang tumbuh dan berkembang saat ini adalah PT

Petrokimia Gresik yang merupakan salah satu industri pupuk terlengkap di Indonesia yang mempunyai status Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dan bernaung dibawah Kementrian BUMN. PT Petrokimia Gresik didirikan pada tahun 1960 berdasarkan Perintah Presiden Negara Republik Indonesia yang pertama yaitu Ir. Soekarno. Berdasarkan SK Kementerian Hukum & HAM Republik Indonesia, nomor : AHU-17695.AH.01.02 Tahun 2012, PT. Petrokimia Gresik bergabung dengan seluruh Perusahaan pupuk yang ada di Indonesia dengan membentuk sebuah *Holding Company* dibawah naungan Pupuk Indonesia. Pada saat ini PT Petrokimia Gresik memiliki beberapa bidang usaha antara lain industri pupuk sebagai bidang usaha yang utama, industri pestisida, industri kimia, industri peralatan pabrik, jasa rancang bangun dan perekayasaan, jasa lainnya.

Alat produksi maupun alat penunjang produksi dalam PT Petrokimia Gresik tidak terlepas dari material yang berasal dari logam karena merupakan faktor yang penting untuk menghasilkan produk yang berkualitas nantinya. Material logam yang menjadi bahan dasar dalam alat produksi maupun penunjang produksi tersebut harus memenuhi spesifikasi yang ditetapkan perusahaan untuk tercapainya efisiensi dalam suatu kegiatan produksi di industri. Untuk mengetahui material logam yang memenuhi spesifikasi maka harus dilakukan karakterisasi material dimana nantinya material logam tersebut dapat memiliki sifat – sifat yang dibutuhkan dalam menunjang produksi. Mengetahui komposisi suatu material adalah faktor penting untuk meningkatkan kualitas material yang digunakan dalam proses produksi di

industri dan dalam menjalankan proses produksi pupuk terdapat berbagai macam hambatan – hambatan di antaranya korosi pada logam, keausan, retakan dan penentuan bahan logam yang tepat untuk proses produksi. Oleh karena itu, untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan pengujian terhadap logam yang akan digunakan dalam proses industri baik dengan menggunakan *Tensile Test Machine*, *Hardness Test Machine*, *X-Ray Fluorescence*, *Optical Emission Spectroscopy*, *Impact Test* dan laju korosi bahan.

Obyek penelitian ini adalah logam baja paduan *Stainless Steel* dan *Alloy Steel* dengan menguji kandungan komponen penyusun logam baja tersebut dan dilakukan pengujian menggunakan *Tensile Test* untuk mengetahui *Strain* dan *Stress* dan untuk mengetahui ikatan antar atom yang terjadi dengan melihat susunan unsur penyusun pada logam yang telah diuji dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* dan *Optical Emission Spectroscopy*.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang diatas, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut ini.

1. Belum diketahui kekuatan tarik logam uji SS 304, SS 310 yang merupakan tipe *Stainless Steel* dan *Low Alloy* yang merupakan tipe *Alloy Steel* dengan *Tensile Test Machine*.
2. Belum diketahui besar nilai *Strain* dan *Stress* yang diberikan pada logam uji SS 304, SS 310 yang merupakan tipe *Stainless Steel* dan *Low Alloy* yang merupakan tipe *Alloy Steel*.

3. Belum diketahui pola patahan pada logam uji SS 304, SS 310 yang merupakan tipe *Stainless Steel* dan *Low Alloy* yang merupakan tipe *Alloy Steel* dengan menggunakan *Tensile Test Machine*.
4. Belum diketahui komposisi kimia logam uji SS 304, SS 310 yang merupakan tipe *Stainless Steel* dan *Low Alloy* yang merupakan tipe *Alloy Steel*.

C. Batasan Masalah

Karena banyaknya permasalahan yang terdapat pada kajian ini dan keterbatasan peneliti dalam melakukan penelitian, maka diperlukan batasan-batasan dalam penelitian ini, yaitu.

1. Jenis logam yang digunakan dalam penelitian adalah baja paduan dengan nama sampel SS 304, SS 310 dan *Low Alloy*.
2. Teknik pengujian sifat mekanik logam tipe *Stainless Steel* dan *Alloy Steel* dengan menggunakan *Tensile Test Machine*
3. Teknik karakterisasi logam uji tipe *Stainless Steel* dan *Alloy Steel* menggunakan *X-Ray Fluorescence* dan *Optical Emission Spectroscopy*.
4. Penentuan pengujian yang dilakukan dengan alat uji tarik adalah besarnya *Strain* dan *Stress* yang diberikan dari masing – masing logam.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah dan batasan masalah diatas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut.

1. Berapa besar nilai uji tarik dari logam uji SS 304, SS 310 yang merupakan tipe *Stainless Steel* dan *Low Alloy* yang merupakan tipe *Alloy Steel* dengan menggunakan *Tensile Test Machine*?
2. Bagaimanakah perbandingan kekuatan *Strain* dan *Stress* yang diberikan dari logam uji jenis SS 304, SS 310 yang merupakan tipe *Stainless Steel* dan *Low Alloy* yang merupakan tipe *Alloy*?
3. Bagaimanakah pola patahan pada SS 304, SS 310 yang merupakan tipe *Stainless Steel* dan *Low Alloy* yang merupakan tipe *Alloy Steel* dengan menggunakan *Tensile Test Machine*?
4. Bagaimanakah komposisi kimia dari logam uji SS 304, SS 310 yang merupakan tipe *Stainless Steel* dan *Low Alloy* yang merupakan tipe *Alloy Steel*?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui besar nilai uji tarik dari logam uji SS 304, SS 310 yang merupakan tipe *Stainless Steel* dan *Low Alloy* yang merupakan tipe *Alloy Steel* dengan menggunakan *Tensile Test Machine*.
2. Mengetahui perbandingan kekuatan *Strain* dan *Stress* yang diberikan dari logam uji SS 304, SS 310 yang merupakan tipe *Stainless Steel* dan *Low Alloy* yang merupakan tipe *Alloy Steel*.
3. Mengetahui pola patahan pada logam uji SS 304, SS 310 yang merupakan tipe *Stainless Steel* dan *Low Alloy* yang merupakan tipe *Alloy Steel* dengan menggunakan *Tensile Test Machine*.
4. Mengetahui komposisi kimia dari logam uji SS 304, SS 310 yang merupakan tipe *Stainless Steel* dan *Low Alloy* yang merupakan tipe *Alloy Steel*.

F. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, diantaranya sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan tentang logam yang digunakan dalam perindustriaan khususnya baja paduan dengan kandungan unsur penyusun yang berbeda.
2. Dapat menghitung kekuatan dari uji tarik logam uji dengan menentukan nilai *Strain* maupun *Stress* dari logam uji SS 304, SS 310 yang merupakan tipe *Stainless Steel* dan *Low Alloy* yang merupakan tipe *Alloy Steel*.
3. Menambah pengetahuan mengenai ilmu fisika yang berkaitan dengan ilmu metalurgi, khususnya tentang jenis logam, pengujiannya, terapannya ilmu fisika, hubungannya antara ilmu metalurgi dengan ilmu fisika, dan kegunaan dalam bidang perindustrian.
4. Menambah ilmu tentang karakteristik sebuah logam yang bisa digunakan dalam penelitian selanjutnya untuk pengembangan jenis logam baru yang nilai uji tariknya besar dan elastisitasnya tinggi terhadap pengaruh dari luar.
5. Terjalin hubungan kerjasama yang saling menguntungkan antara Fakultas/Jurusan/Program Studi FISIKA di FMIPA UNY dengan dunia kerja.
6. Sebagai bahan masukan (*feedback*) yang dapat digunakan untuk evaluasi program-program pada Program Studi atau Jurusan FISIKA di FMIPA UNY.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Logam

Material secara umum terbagi dalam tiga klasifikasi yaitu logam, keramik dan polimer. Logam mempunyai beberapa sifat diantaranya yaitu sifat kimia, sifat fisis dan sifat mekanis. Sifat fisis adalah perilaku suatu material yang disebabkan oleh pengaruh pemanasan, pendinginan dan pengaruh arus listrik dengan mempengaruhi struktur materialnya. Pada gambar 1 dibawah ini merupakan contoh dari logam baja industri di Indonesia.



Gambar 1. Contoh Logam Baja Industri di Indonesia (sumber: <http://kawatlas.jayamanunggal.com>)

Sifat mekanik suatu logam menggambarkan hubungan antara respon bahan atau deformasi dengan beban atau gaya yang diberikan. Sifat mekanik bahan yang penting adalah kekuatan (*strength*), kekerasan (*hardness*), keuletan (*ductility*), dan kekakuan (*stiffness*). Sifat mekanik secara umum

ditentukan melalui pengujian destruktif dari sampel material pada kondisi pembebanan yang terkontrol. Sifat mekanik yang paling baik adalah didapat dengan melakukan pengujian *prototype* atau langsung pada material uji dengan menggunakan mesin uji yang diinginkan. Hasil dari pengujian didapatkan nilai uji mekanik dari suatu material dengan berdasarkan standar yang telah ditentukan yaitu menggunakan *ASTM (American Society for Testing and Material)*.

Sifat kimia dari logam yaitu menggambarkan unsur kimia penyusun dan ikatan yang terjadi pada logam tersebut. Sifat kimia dari suatu logam dapat di karakterisasi dengan menggunakan alat uji yang berkerja berdasarkan prinsip eksitasi elektron yang menghasilkan kateristik unsur-unsur penyusun suatu logam.

Berdasarkan bahan penyusunnya, jenis logam terbagi menjadi logam murni dan logam paduan. Logam paduan adalah logam yang dicampur dengan material logam lain atau material non logam. Logam murni adalah logam yang diperoleh dari hasil tambang dan tidak terdapat campuran unsur lain.

Logam paduan mempunyai sifat fisis yang lebih baik dibandingkan dengan logam murni. Logam yang kuat dan keras diperoleh dari paduan antara dua logam yang lemah. Logam di dunia banyak jenisnya diantaranya logam baja, besi, alumunium dll. Disini yang akan dibahas adalah logam baja. Baja didefinisikan sebagai suatu campuaran besi dan karbon. Kandungan karbon di dalam baja sekitar 0,1% sampai 1,7%, sedangkan unsur lainnya dibatasi oleh

persentasenya, lebih spesifiknya baja merupakan material logam dengan bahan dasar besi (Fe) yang dipadu dengan paduan utama karbon (C) maksimum 2 % dan mengandung unsur pengikat seperti silikon (Si), mangan (Mn), sulfur (S) dan pospor (P) serta unsur paduan seperti krom (Cr), nikel (Ni), molibdenum (Mo) dll. (Amanto dan Daryanto, 2003:22).

Berdasarkan kandungan dasar penyusunnya baja dibagi atas 3 bagian utama yaitu.

1. Baja karbon (*Plain Carbon Steel*) terdiri dari.

- a. *Low Carbon Steel* ($C < 0,2$) adalah jenis baja yang bersifat relative rendah, lunak, tetapi keuletannya tinggi, mudah dibentuk dan di *machining*. Baja ini tidak dapat dikeraskan kecuali dengan *Case Hardening*. Jenis baja ini banyak digunakan sebagai konstruksi umum, baja profil rangka bangunan, baja tulangan beton, rangka kendaraan, mur baut.
- b. *Medium Carbon Steel* ($0,2 < C < 0,5$) adalah jenis baja yang lebih kuat dan dapat dikeraskan. Penggunaannya hampir sama dengan *Low Carbon Steel*, yaitu pada baja konstruksi mesin, roda gigi, dan rantai.
- c. *High carbon steel* ($C > 0,5$) adalah jenis baja yang mempunyai keuletan yang rendah, tetapi tingkat kekuatan dan kekerasannya tinggi. *High carbon steel* banyak digunakan untuk perkakas yang memerlukan sifat tahan aus, misalnya untuk mata bor, tap, dan perkakas tangan lainnya.

2. Baja paduan rendah (*Low Alloy Steel with Total Alloying < 8%*)

Baja paduan rendah yang banyak digunakan adalah *High Strength Low-Alloy Steels (HSLA)*. Sifat dari *HSLA* adalah memiliki *Tensile Strength* yang tinggi, anti bocor, tahan terhadap abrasi, mudah dibentuk, tahan terhadap korosi, ulet, sifat mesin yang baik, dan sifat mampu las yang tinggi (*weldability*). Untuk mendapatkan sifat-sifat diatas maka baja ini diproses secara khusus dengan menambahkan unsur-unsur seperti tembaga (Cu), nikel (Ni), krom(Cr), molibdenum (Mo), vanadium (Va).

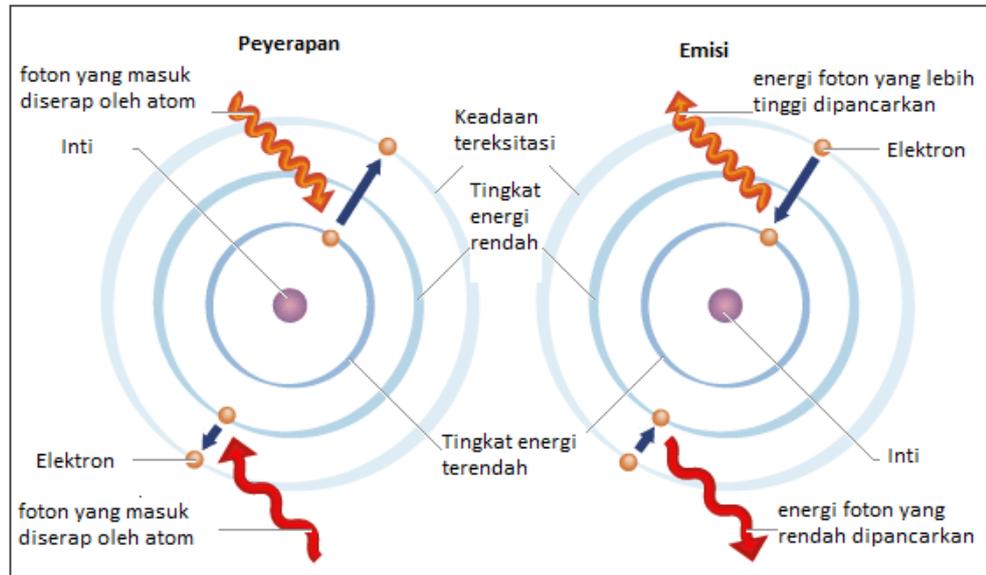
3. Baja paduan tinggi (*High Alloy Steel with Total Alloying > 8%*) terdiri dari.

a. *Stainless Steel*(austenitik SS = 18% Cr & 8% Ni) yaitu baja yang merupakan baja paduan tahan karat dengan kadar paduan tinggi dan memiliki sifat tahan terhadap korosi dan temperature tinggi. Sifat tahan korosi diperoleh dari lapisan oksida (terutama *chrom*) yang sangat stabil, melekat pada permukaan, dan melindungi baja dari lingkungan yang korosif. Selain *chrom*, lapisan oksida nikel juga digunakan sebagai pelindung permukaan baja (Oberg, 1996).

b. *Tool Steel* (baja perkakas) merupakan baja khusus yang berkualitas tinggi dan dipakai untuk membuat perkakas perautan (*cutting*) maupun pembentukan (*forming*) (Surdia Tata dan Shinroku Saito, 1999). Perbedaan *Low Alloy Steel* dan *High Alloy Steel* adalah paduan seperti Cr, Ni, Mo, Co, V, Nb, Ti yang bersifat meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap korosi.

B. *Optical Emission Spectroscopy*

Optical Emission Spectroscopy (OES) merupakan alat spektroskopi yang digunakan untuk pengukuran secara kuantitatif emisi optik dari eksitasi atom untuk menjelaskan analisis konsentrasi suatu unsur material. Analisis sampel pada *OES* didasarkan karena adanya pemecahan energi yang direpresentasikan dalam bentuk panjang gelombang dan melibatkan pergerakan elektron didalam suatu atom. Prinsip dasar dari analisa ini yaitu apabila atom suatu unsur ditempatkan dalam suatu sumber energi kalor (sumber pengekstiasi), maka elektron di orbital paling luar atom tersebut yang tadinya dalam keadaan dasar atau "*ground state*" akan tereksitasi ke elektron dengan tingkat energi yang lebih tinggi. Keadaan elektron yang tereksitasi itu merupakan keadaan yang sangat tidak stabil, maka elektron yang tereksitasi itu secepatnya akan kembali ke tingkat energi semula yaitu keadaan dasarnya (*ground state*), sedangkan atom yang tereksitasi akan berupa emisi sinar dengan panjang gelombang yang karakteristik bagi unsur yang bersangkutan (Twyman,2005). Contoh terjadinya eksitasi pada *OES* seperti gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Contoh eksitasi pada OES (sumber: OXFORD Instrument)

Eksitasi atom mampu digunakan untuk menganalisis konsentrasi suatu material dan hasil pengukurannya merupakan hasil konsentrasi unsur secara simultan, tergantung panjang gelombang yang dihasilkan masing masing unsur dalam material. Eksitasi terhadap sampel di dalam OES tidak dilakukan dengan melakukan penyinaran. Namun, eksitasi atom dilakukan dengan memberikan kalor atau tegangan listrik. Hasil analisis OES tidak hanya berupa panjang gelombang yang merepresentasikan jenis unsur, tetapi juga nilai intensitas. Intensitas merupakan suatu besaran yang menunjukkan banyaknya energi yang dipancarkan oleh suatu sumber. Intensitas dalam kaitannya dengan OES berarti banyaknya energi yang dipancarkan oleh elektron dalam unsur tertentu ketika mengalami deeksitasi. Intensitas energi yang dipancarkan oleh unsur di dalam logam berhubungan dengan nilai konsentrasi unsur tersebut. Semakin banyak jumlah unsur tertentu di dalam material berarti semakin banyak elektron yang mengemisikan cahaya ketika

mengalami deeksitasi. Detektor mampu mendeteksi kuantitas cahaya yang diemisikan oleh elektron tersebut. Nilai intensitas energi yang diterima detektor mempresentasikan konsentrasi unsur. Semakin tinggi intensitas energi suatu unsur, maka semakin besar konsentrasi unsur tersebut di dalam logam.

C. *Arc Met 8000(Instrumen Pengujian dengan Teknik OES)*

Arc Met 8000 merupakan salah satu alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi unsur suatu material dengan menggunakan prinsip kerja spektroskopi emisi atomik atau *OES*. *Arc Met 8000* memiliki beberapa metode penyajian yaitu *Low Alloy Steels*, *High Alloy Steels* dan model lain seperti aluminium, tembaga, nikel, kobalt, magnesium, zirconium, dan titanium. *Arc Met 8000 Mobile Lab Portable Spectrometer* merupakan spektrometer *portable* yang sangat ideal untuk menentukan semua elemen di *Carbon Steels*, *Alloy Steels*, dan *Stainless Steel*. Hal ini juga dapat digunakan untuk menganalisis bahan *Ferrous* dan *Non Ferrous* termasuk nikel, kobalt, aluminium, dan paduan dasar tembaga bersama dengan carbon rendah paduan dan *stainless steels*. Pada *Arc Met 8000* yang dimiliki oleh PT Petrokimia Gresik merupakan produksi dari *Oxford Instrumen Analytical Oy*.

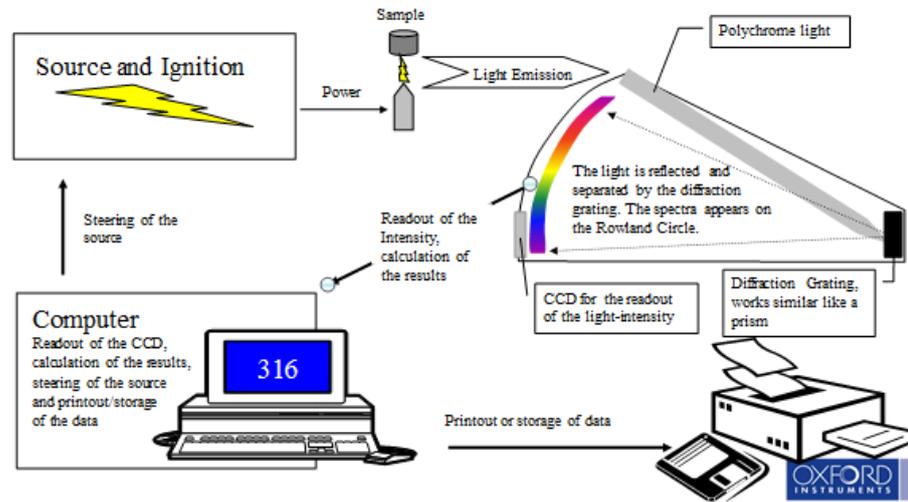
Seperangkat *Arc Met 8000* terdiri dari sebuah *probe*, *console* yang dilengkapi dengan gas container, dan *power supply*. *Probe* berhubungan langsung dengan *console* melalui sebuah kabel dan keduanya terintegrasi dengan gas container serta *power supply*. Bagian depan sebuah *probe* pada

Arc Met 8000 terdiri dari *window* dan elektroda. *Window* adalah tempat menempelkan sampel logam. Disekitar *window* terdapat sebuah celah melingkar yang merupakan tempat keluarnya gas argon. Gas argon berfungsi untuk mengisolasi sampel yang diuji agar tidak terhubung dengan lingkungan luar. Elektroda berfungsi sebagai tempat untuk mengalirkan arus listrik. Elektroda pada *probe Arc Met 8000* terbuat dari kawat Tungsten yang memiliki titik leleh yang tinggi yaitu sekitar 3422 °C. Serangkaian alat ini juga dilengkapi dengan sebuah detektor (Kalkkinen, 2009).

Detektor yang digunakan adalah berupa film foto atau tabung penggandaan foton (*Photon Multiplier Tube/PMT*). *PMT* terdiri dari tabung kaca hampa udara yang sebagian dindingnya terbuat dari kuarsa, bagian dalam terdiri dari katoda yang permukaannya dilapisi suatu bahan yang akan mengeluarkan elektron bila dikenai sinar. Elektroda yaitu *dynode* yang diberi tegangan listrik dan dapat mengeluarkan elektron bila permukaannya dikenai berkas elektron yang dipercepat.

Selain adanya detektor, *Arc Met 8000* juga menggunakan gas argon sebagai pengoksidasi dan mengisolasi sampel yang sedang diuji agar tidak berhubungan dengan lingkungan luar. Argon merupakan unsur kimia yang tergolong gas mulia. Argon sering digunakan karena dapat dimanfaatkan sebagai pelindung inert untuk *arc welding* dan *cutting*. Argon juga memiliki sifat-sifat yaitu molekul argon hanya terdiri dari satu atom argon yaitu Ar dan argon tidak dapat membentuk campuran kimia sejati. Gas argon digunakan sebagai sumber utama pada *Arc Met 8000* (Bogaerts and Renaat Gijbels

Annemie, 1998). Berikut prinsip kerja *Arc Met 8000* pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Prinsip kerja Arcmet 8000(sumber: OXFORD Instrument)

Berdasarkan prinsip kerjanya dapat di klasifikasi Model pada *Arc Met 8000* sebagai berikut ini.

1. *Low Alloy Steels*

Model *Low Alloy Steels* digunakan untuk sampel material baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah (<8%).

2. *Universal Cooper*

Model ini digunakan untuk sampel material berbahan dasar tembaga.

3. *Low Alloy High Mn*

Model ini digunakan untuk sampel material yang kandungan bahan campuran mangan yang tinggi.

4. *Cr-Ni Steels*

Model ini digunakan untuk sampel material dengan bahan baja sebagai unsur minornya dan krom-nikel sebagai paduan utamanya.

5. *Cast Iron*

Model ini digunakan untuk sampel material yang memiliki kandungan baja sangat tinggi.

6. *Cr Steels*

Model ini digunakan untuk sampel material berbahan dasar krom dengan paduan baja.

7. *Tool Steels*

Model ini digunakan untuk sampel baja perkakas.

8. *Al Alloys*

Model ini digunakan untuk sampel aluminium paduan.

9. *Ni Alloys*

Model ini digunakan untuk sampel nikel paduan.

10. *Al Bronze*

Model ini digunakan untuk sampel aluminium perunggu.

11. *Brasses*

Model ini digunakan untuk sampel berupa kuningan.

(Kalkkinem, 2009)

D. *X-Ray Fluorescences (XRF)*

X-Ray Fluorescence adalah sebuah teknik berbasis sinar-X yang dapat digunakan untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi dari elemen pada setiap unsur. *Fluorescences* adalah sebuah fenomena penyerapan radiasi yang

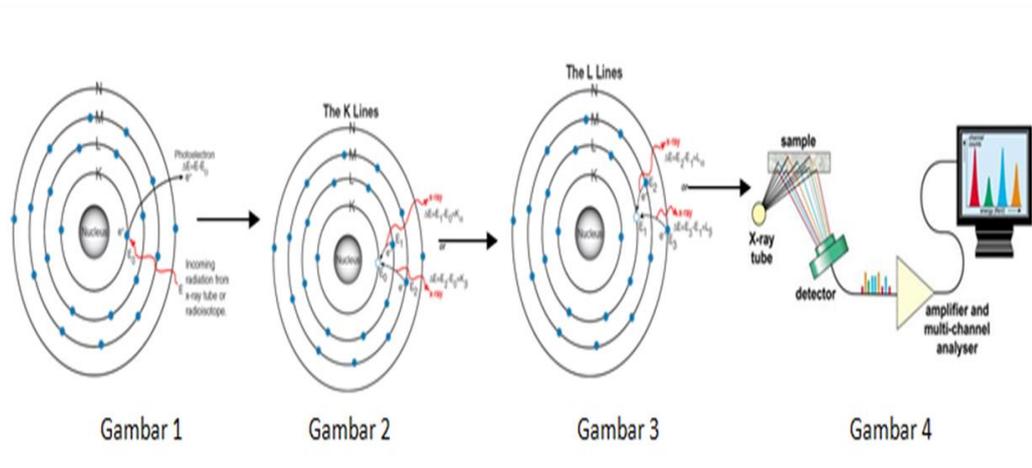
datang dan memancarkan radiasi kembali dengan energi radiasi yang lebih rendah. Sebuah atom yang stabil terdiri dari inti dan elektron yang mengelilingi orbit. Pada skala atom, cahaya tampak *fluorescence* disebabkan adanya cahaya ultraviolet dengan energi elektron rendah keluar dari lintasan elektron yang lebih luar, sehingga untuk mencapai kestabilan kembali, elektron dengan tingkat energi lebih tinggi mengisi kekosongan pada ruang tersebut. Perpindahan tersebut menghasilkan energi spesifik dalam bentuk cahaya tampak pada energi tertentu yang disebut sebagai karakteristik X-Ray.

Energi pada *XRF* adalah karakteristik level energi dari lintasan elektron tiap elemen. Level energi berbeda untuk setiap elemen, dengan analisis energi pada spektrum *XRF* yang diemisikan oleh sebuah zat, dapat ditentukan elemen yang ada pada unsur dan konsentrasi tiap zat. Informasi ini dibutuhkan untuk mengidentifikasi suatu unsur.

Berdasarkan karakteristik sinar X yang dipancarkan, elemen kimia dapat diidentifikasi dengan menggunakan *WDXRF* (*wavelength dispersive XRF*) dan *EDXRF* (*Energy Dispersive XRF*). *WDXRF* (*wavelength dispersive XRF*) merupakan dispersi sinar-X didapat dari difraksi dengan menggunakan *analyzer* yang berupa kristal yang berperan sebagai grid. Kisi kristal yang spesifik memilih panjang gelombang yang sesuai dengan hukum *Bragg*. Sedangkan *EDXRF* (*Energy Dispersive XRF*) bekerja tanpa menggunakan kristal, namun menggunakan software yang mengatur seluruh radiasi dari sampel kedetektor (Leonid Solovyov, 2009).

Radiasi emisi dari sample yang dikenai sinar-X akan langsung ditangkap oleh detektor. Detektor menangkap foton – foton tersebut dan dikonversikan menjadi impuls elektrik. Amplitudo dari impuls elektrik tersebut bersesuaian dengan energi dari foton – foton yang diterima detektor. Impuls kemudian menuju sebuah perangkat yang dinamakan *MCA (Multi-Channel Analyzer)* yang akan memproses impuls tersebut, sehingga akan terbaca dalam memori komputer sebagai channel. *Channel* tersebut yang akan memberikan nilai spesifik terhadap sampel yang dianalisa. Pada *XRF* jenis ini, membutuhkan biaya yang relatif rendah, namun keakuratan berkurang(Gosseau,2009).

Analisis menggunakan *XRF* dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan X-Ray yang terjadi akibat efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena electron dalam atom pada sampel terkena sinar berenergi tinggi (X-Ray). Berikut adalah penjelasan prinsip kerja *XRF* berdasarkan efek fotolistrik pada gambar 4 dibawah ini.

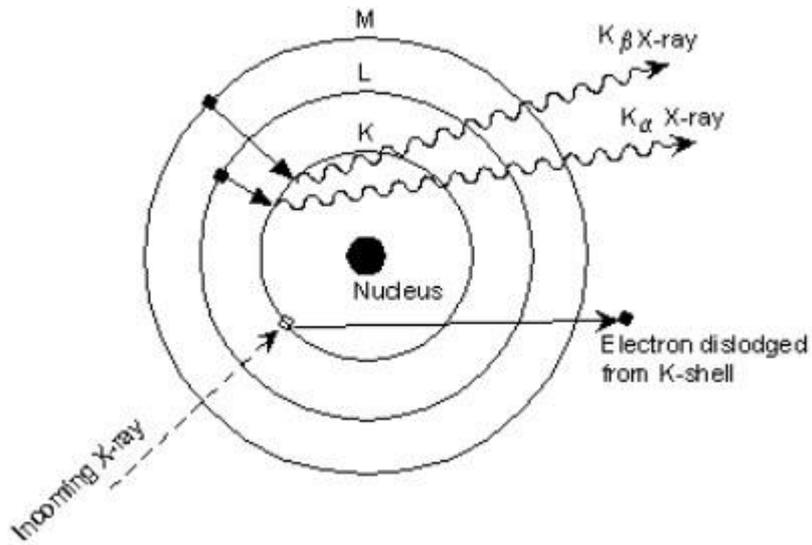


Gambar 4. Prinsip Kerja X-Ray Fluorescence (1) Elektron Tereksitasi Keluar (2) Pengisian Kekosongan Elektron(3) Pelepasan Energi (4) Proses (sumber: X-Ray Fluorescence Spectrometry)

Berikut ini adalah penjelasan prinsip kerja dari gambar diatas.

1. X-Ray ditembakkan pada sampel, jika selama proses penembakan X-Ray mempunyai energi yang cukup maka elektron akan terlempar (terekstasi) dari kulitnya yang lebih dalam yaitu kulit k dan menciptakan *vacancy* atau kekosongan pada kulitnya, ditunjukkan pada gambar 1.
2. Kekosongan tersebut mengakibatkan kondisi yang tidak stabil pada atom. Untuk menstabilkan kondisi maka elektron dari dari tingkat energi yang lebih tinggi misalnya dari kulit L dan M akan berpindah menempati kekosongan tersebut, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Pada proses perpindahan tersebut, energi dibebaskan karena adanya perpindahan dari kulit yang memiliki energi lebih tinggi (L/M) kedalam kulit yang memiliki energi paling rendah (K). Emisi yang dikeluarkan oleh setiap material memiliki karakteristik khusus.

3. Proses tersebut memberikan karakteristik dari *X-Ray*, yang energinya berasal dari perbedaan energi ikatan antar kulit yang berhubungan. *X-Ray* yang dihasilkan dari proses ini disebut *X-Ray Fluorescence* atau *XRF* (Gambar 3).
4. Proses untuk mendeteksi dan menganalisa *X-Ray* yang dihasilkan disebut *X-Ray Fluorescence Analysis*.
5. Karena spektrum *X-Ray* maka pada saat penyinaran suatu material akan didapatkan *multiple peak* pada intensitas yang berbeda.
6. Karakterisasi *X-Ray* yang ditandai oleh K, L, M atau N untuk menunjukkan kulit asalnya. Model yang lain yaitu alfa, beta, atau gamma dibuat untuk menandai *X-Ray* yang berasal dari electron transisi dari kulit yang lebih tinggi.
7. $K\alpha$ dihasilkan dari transisi elektron dari kulit L ke kulit K dan *X-Ray* $K\beta$ dihasilkan dari transisi elektron dari M menuju kulit K, seperti gambar 5 berikut.



Gambar 5. Terbentuknya K-alpha dan K-Beta (sumber: X-Ray Fluorescence Spectrometry)

Teknik analisa *XRF* memiliki kelebihan serta kekurangan, beberapa kelebihan dari penggunaan *XRF* sebagai pengujian untuk specimen logam:

- a. Cukup mudah, murah dan analisisnya cepat.
- b. Jangkauan elemen hasil analisa akurat.
- c. Membutuhan sedikit sampel pada tahap preparasinya (untuk *Trace* elemen).
- d. Dapat digunakan untuk analisa elemen mayor (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) maupun tiap elemen (>1 ppm; Ba, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, La, Nb, Ni, Rb, Sc, Sr, Rh, U, V, Y, Zr, Zn).

Beberapa kekurangan dari penggunaan pengujian spesimen logam menggunakan *XRF* :

- a. Tidak cocok untuk analisa element yang ringan seperti H dan He.
- b. Tidak bisa mendeteksi adanya karbon.

- c. Analisa sampel cair membutuhkan volume gas helium yang cukup besar.
- d. Preparasi sampel biasanya membutuhkan waktu yang cukup lama dan membutuhkan perlakuan yang banyak.

E. XRF XL2-GOLDD(Instrumen Pengujian XRF)

Alat *Niton XL2 GOLDD* memiliki cara kerja yaitu Sinar-X diarahkan pada permukaan benda yg diuji. Energi sinar-X ini menyebabkan elektron-elektron yang terdapat pada benda uji keluar dari orbitnya. Karena elektron keluar dari orbitnya maka terjadi kekosongan dan elektron yg berada di kulit lain mengisi kekosongan tersebut, sehingga menghasilkan sinar-X karakteristik. Contoh instrumen seperti gambar 6 dibawah ini:



Gambar 6. Contoh Instrumen XL2 Goldd (Sumber: Journal of Analytical Atomic Spectrometry Vol.13)

Sinar-X karakteristik ini diterima oleh detektor dan diubah menjadi sinyal listrik kemudian diteruskan ke pre-amp. Pre-Amp menguatkan sinyal tersebut dan mengirimkannya ke *Digital Signal Processor* (DSP). DSP mengumpulkan dan men-*digitalisasi* hasil dari sinar-X dan mengirimkan hasil spektrum ke CPU untuk diproses. CPU memproses secara matematis mengubah spektrum sinar-X menjadi analisis komposisi secara detail. Data komposisi langsung ditampilkan pada layar dan disimpan ke dalam memori sebagai data atau untuk di *download* ke komputer. Alat ini memiliki keuntungan yaitu hasil didapat dengan cepat, tidak merusak, kualitatif dan/atau kuantitatif analisis multi-elemen, sedikit atau tidak membutuhkan persiapan sample, dapat digunakan untuk tipe sampel yg berbeda-beda bentuk dan ukuran padat, bubuk, cair, berulir, dll.

Kalibrasi mencakup range batas deteksi sampai 100%, dapat digunakan di lingkungan yang ekstrim dengan suhu tinggi, bergetar, berisik, berdebu, hujan, salju, panas, dingin, dll. Namun alat ini memiliki kelemahan elemen-elemen bernomor atom dibawah 12 dibutuhkan helium purge, tidak dapat mendeteksi karbon, batas deteksi (0.01 - 0.1%). Kemampuan analisis alat ini dapat menganalisis 29 elemen: elemen-elemen dari Mg* sampai U termasuk Mg*, Al*, Si*, P*, S, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Hf, Ta, W, Re, Pb, Zr, Nb, Mo, Ru, Pd, Ag, Cd, Sn, Sb. Analisis *alloy* dalam 1 sampai 5 detik.

Cara aman menggunakan alat ini adalah jangan pernah mengarahkan alat ini pada diri sendiri ataupun orang lain pada saat *shutter*

terbuka, jarak aman kira-kira 1 meter, berdiri dibelakang atau disamping alat pada saat dioperasikan, jangan biarkan *shutter* terbuka dengan sengaja, jangan meletakkan alat di tempat yang mudah jatuh, gunakan personal dosimeter jika dibutuhkan.

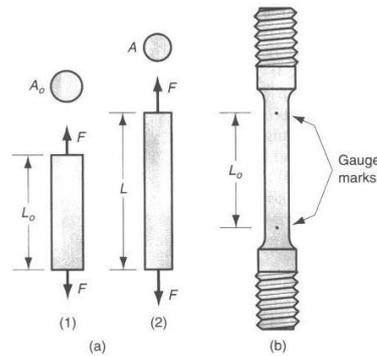
F. *Tensile Test Machine* (Mesin Uji Tarik)

Mesin uji tarik adalah mesin yang digunakan untuk pengujian tarik spesimen logam dengan menggunakan spesimen sesuai standar *ASTM*. Kemudian spesimen dipasang dalam mesin uji tarik dan diberi beban statis yang meningkat secara perlahan sampai spesimen akhirnya patah.

Tensile Test Machine digunakan untuk memilih material yang sesuai untuk aplikasi Engineering, untuk menentukan perlakuan pengelasan yang tepat dan untuk mengetahui sifat mekanik material (*Stress-Strain Curve*). Desain *Tensile Test Machine* terdapat sifat mekanik seperti modulus elastis dan kekuatan luluh penting untuk menahan deformasi permanen pada tekanan yang diterapkan, dengan demikian fokusnya adalah pada sifat elastis.

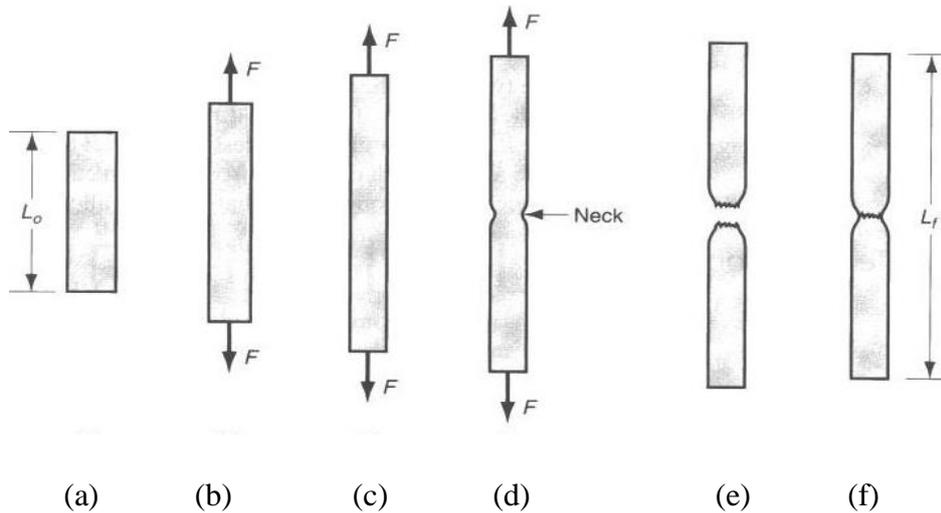
Kegunaan *Tensile Test Machine* di bidang manufaktur, tujuannya adalah untuk menerapkan tekanan yang melebihi kekuatan luluh material sehingga mengubahnya menjadi bentuk yang diinginkan dengan demikian, fokusnya adalah pada sifat plastik. Perilaku hasil suatu material ditentukan dari hubungan tegangan-regangan di bawah keadaan tegangan yang diterapkan (tarik, tekan atau geser). Prinsip dasar dalam *Tensile Tes Machine* adalah gaya aksial yang diterapkan pada spesimen panjang asli (l_0)

memanjangnya, menghasilkan pengurangan luas penampang dari A_o sampai A sampai fraktur terjadi dan beban dan perubahan panjang antara dua titik tetap (panjang gauge) dicatat dan digunakan untuk menentukan hubungan tegangan-regangan seperti gambar 7 yang dibawah ini.



Gambar 7. Preparasi Logam Uji Pada Tensile Test.a.(1) panjang awal logam, (2) panjang akhir logam. b batas putus logam (sumber:ASTM)

Langkah-langkah model bentuk logam uji pada mesin uji tarik seperti gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Perubahan Logam Uji Pada Mesin Uji Tarik (sumber: ASTM)

- a. bentuk asli dan ukuran spesimen tanpa beban
- b. spesimen yang mengalami perpanjangan seragam
- c. titik beban maksimum dan kekuatan tarik akhir
- d. permulaan necking (ketidakstabilan plastik)
- e. spesimen fraktur
- f. panjang akhir.

Pada *Tensile Test Machine* dihasilkan nilai besarnya *Strain*, *Stress* dan Modulus Elastisitas dan juga perubahan bentuk spesimen logam beserta pola patahanya yang dijelaskan dibawah ini.

1. *Stress*(Tegangan)

Stress atau tegangan didefinisikan sebagai perubahan spasial yang dikenai gaya tersebut(Van Vlack,1991). Dalam satuan internasional, *stress* memiliki lambing S dan satuan N/m^2 . Gaya yang bekerja pada benda menyebabkan terjadinya perubahan ukuran benda. Pengaruh vector gaya terhadap sumbu x menghasilkan besaran tensile stress dengan lambang σ_x .

Indeks x menyatakan arah vector gaya, pengaruh gaya terhadap sumbu y dan sumbu z menghasilkan momen yang disebut besaran *shear stress*. Untuk sumbu y, shear stress dilambangkan σ_{xy} , sedangkan sumbu z dilambangkan σ_{xz} .

Hubungan antara besaran-besaran tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$S = \frac{\partial F}{\partial A} = \sigma_x i + \sigma_{xy} j + \sigma_{xz} k \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma_x = \frac{\partial F}{\partial A} x \dots\dots\dots (2)$$

Dengan i,j,k adalah vector satuan untuk masing-masing sumbu.

2. *Strain*(Regangan)

Strain atau regangan didefinisikan sebagai perbandingan perubahan panjang benda terhadap panjang mula-mula akibat suatu gaya dengan arah sejajar perubahan panjang tersebut (Van Vlack, 1991). Dalam satuan internasional, strain memiliki lambang ϵ dengan satuan mm/mm atau %.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan ΔL adalah perubahan panjang benda dan L_0 adalah panjang benda mula mula. Benda padat yang dikenai gaya akan mengalami perubahan ukuran. Jika gayanya berupa gaya tarik maka benda akan memanjang, sebaliknya jika gayanya adalah gaya tekan, maka benda akan memendek. Hal ini terjadi jika ukuran benda dimensi panjangnya jauh lebih besar dari lebarnya. Sementara jika ukuran panjang dan lebar suatu benda hampir sama maka akibat adanya gaya akan mengakibatkan terjadinya regangan geser.

3. Modulus Elastisitas

Elastisitas didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Peristiwa ini disebut juga deformasi elastis. Deformasi elastis terjadi bila logam atau bahan padat dibebani gaya. Bila tegangan tersebut disebabkan oleh gaya tarik maka benda akan bertambah panjang, setelah gaya ditiadakan benda akan kembali ke bentuk semula. Sebaliknya jika tegangan tersebut disebabkan oleh gaya tekan maka akan mengakibatkan benda akan menjadi lebih pendek dari keadaan semula (Van Vlack, 1991). Bila hanya ada deformasi elastik, maka regangan sebanding dengan tegangan. Perbandingan antara tegangan (σ) dengan regangan elastik (ϵ) disebut modulus elastisitas (modulus Young) yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (4)$$

Persamaan diatas dikenal juga dengan Hukum Hooke. Hukum Hooke berlaku di bawah batas elastik, dimana untuk sebagian besar bahan selama beban atau tegangan tidak melampaui batas elastik, regangan akan sebanding dengan tegangan. Regangan elastik akan sebanding dengan tegangan bila pada bahan/logam hanya terjadi deformasi elastik. Pada pembebanan geser, bekerja dua gaya yang sejajar. Tegangan geser σ_s adalah gaya F_s dibagi dengan luas bidang geser .

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_s} \dots\dots\dots (5)$$

Gaya geser menyebabkan adanya pergeseran sudut α . Regangan geser γ didefinisikan sebagai tangen α . Perbandingan tegangan geser σ_s dengan regangan geser γ disebut modulus geser G .

$$G = \frac{\sigma_s}{\gamma} \dots\dots\dots (6)$$

Modulus geser G disebut juga modulus kekakuan, berbeda dengan modulus elastisitas (modulus Young) E . Untuk regangan kecil berlaku hubungan:

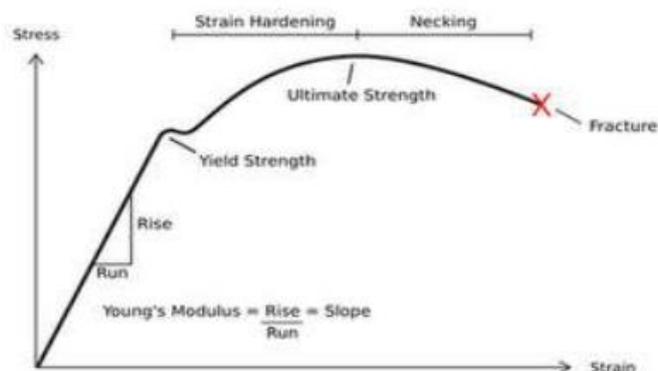
$$E = 2(1 + \nu) \dots\dots\dots (7)$$

ν adalah bilangan Poisson yaitu perbandingan negatif antara regangan melintang ϵ_y dengan regangan tarik ϵ_z . Bilangan Poisson ν berada antara 0,25 sampai 0,5, maka nilai G mendekati 35% dari E . Modulus elastik yang ketiga adalah modulus Bulk (modulus curah) dinotasikan dengan K . Modulus ini adalah kebalikan dari modulus kompresibilitas β , sama dengan perbandingan tekanan hidrostatis P_h dengan kompresi volum ($\Delta V/V$).

$$K = \frac{P_h V}{\Delta V} = \frac{1}{\beta} \dots\dots\dots (8)$$

Kekuatan tarik (*tensile strength*) atau kekuatan tekan (*compressive strength*) menyatakan ukuran besar gaya yang diperlukan untuk mematahkan atau merusak bahan. Dengan pengujian kekuatan tarik maka didapatkan gejala fisis yaitu perubahan pertambahan panjang dari suatu logam uji dengan panjang semula menjadi pertambahan panjang setelah uji tarik. Dalam pengujian tarik

logam uji di tarik sampai putus sehingga didapatkan pola patahan tertentu pada logam uji dengan pola patahan ulet maupun getas. Pola patahan terjadi dikarenakan kandungan unsur penyusun dari logam ketika proses pembentukan logam atau produksi logam. Diagram antara *stress* (tegangan) dan *strain* (regangan) dapat digunakan untuk menentukan sifat mekanik dari suatu bahan. Diagram tersebut menggambarkan perubahan *stress* terhadap *strain* bila benda dikenai suatu gaya. Pada titik tertentu akan terjadi deformasi struktur benda yaitu pada titik dengan tanda X. Diagram umum *stress* terhadap *strain* suatu material dapat dilihat pada gambar 9 dibawah ini.

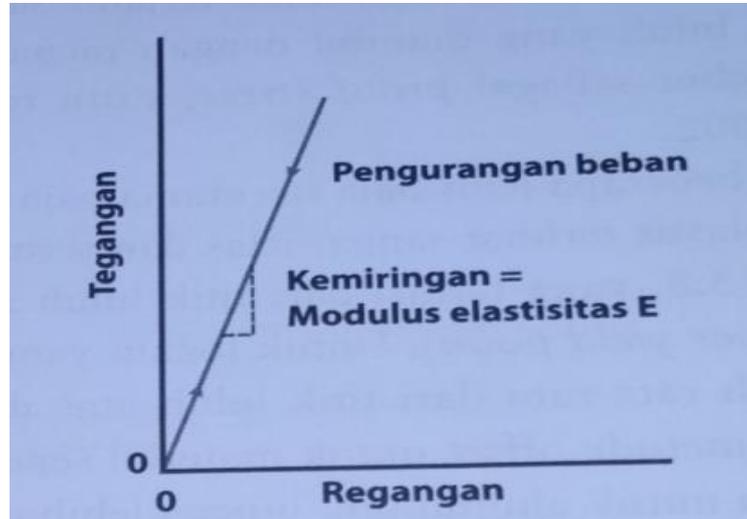


Gambar 9. Grafik Antara Strain dan Stress (sumber:deformasi.com)

4. Deformasi Elastis

Deformasi elastis terjadi diawal pembebanan ketika pembebanan masih sangat rendah, dimana regangan dan tegangan berbanding lurus. Deformasi ketika regangan dan tegangan berbanding lurus dinamakan deformasi elastis. Hubungan linear antara

regangan dan tegangan dapat dilihat dari grafik pada gambar 10 di bawah ini:



Gambar 10. Konsep kekakuan modulus elastisitas pada material (sumber:Pengantar Material Teknik).

Kemiringan dari bagian linear adalah sama dengan modulus elastisitas. Modulus elastisitas menggambarkan kekakuan(stiffness) material. Semakin besar modulus(semakin curam kemiringan grafik tegangan-regangan), maka semakin kaku material tersebut artinya jika material diberikan suatu beban tertentu , maka material tersebut akan mengalami deformasi elastis yang lebih kecil. Material yang kaku sangat dibutuhkan untuk aplikasi struktural, seperti aplikasi jembatan, menara, gedung dan bangunan lainnya, dengan demikian apabila diberikan beban yang berat maka struktur tidak akan melendut(berlekuk ke bawah) atau terdeformasi.

Deformasi elastis bersifat tidak permanen. Ketika beban dilepas, spesimen akan kembali ke bentuk awal. Pembebanan sama

artinya dengan menggerakkan material dari posisi awal mengikuti garis lurus dan ketika beban dilepas garis berbalik ke posisi awal kembali. Dalam skala atomik deformasi elastis diartikan sebagai perubahan kecil pada jarak atomik dan teregangnya ikatan antara atom. Apabila dianalogikan bahwa ikatan diantara dua atom sama dengan pegas, maka deformasi elastis adalah peregangan pegas yang akan kembali ke posisi semula apabila tegangan dilepaskan.

Ketika tegangan tarik diberikan pada sebuah material perpanjangan pada arah beban maka terjadi (sering disebut arah z), apabila terjadi perpanjang pada arah z maka akan terjadi perpendekan pada arah lateral (arah x dan arah y) yang disebut sebagai ϵ_x dan ϵ_y . Apabila tegangan yang diberikan adalah satu arah (unaksial pada arah z) dan material bersifat isotropik dimana $\epsilon_x = \epsilon_y$, maka sebuah parameter yang disebut rasio Poisson dapat didefinisikan sebagai rasio antara regangan lateral dan regangan aksial atau sesuai dengan persamaan berikut:

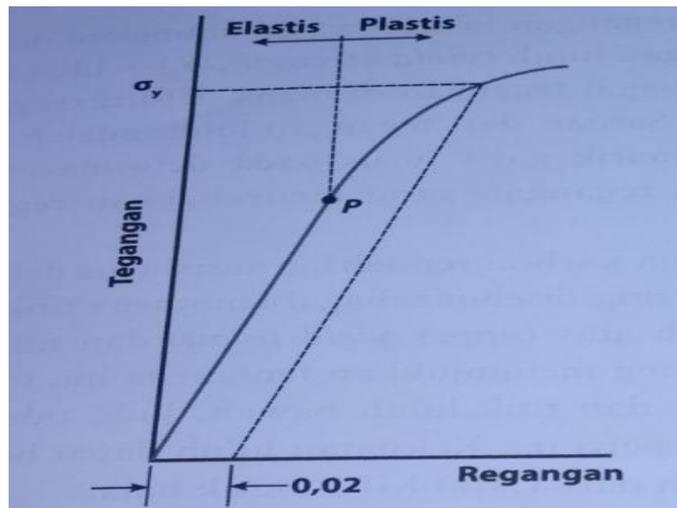
$$\nu = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z} \dots\dots\dots (9)$$

Tanda negatif selalu dimasukkan dalam persamaan diatas sehingga nilai ν selalu positif, karena ϵ_x dan ϵ_z selalu berlawanan tanda. Untuk sebagian logam nilai Poisson berkisar antara 0,25 dan 0,35.

5. Deformasi Plastis

Pada sebagian logam deformasi elastis hanya terjadi hingga regangan mencapai 0,005. Apabila material terus berdeformasi maka

tegangan tidak lagi berbandi lurus dengan regangan sehingga hukum Hooke tidak berlaku . Deformasi menjadi permanen tidak dapat balik dimana beban dilepaskan benda tidak kembali ke bentuk awalnya. Akibatnya kita katakan benda sudah mengalami deformasi plastis. Contoh deformasi plastis seperti grafik pada gambar 11 dibawah ini:

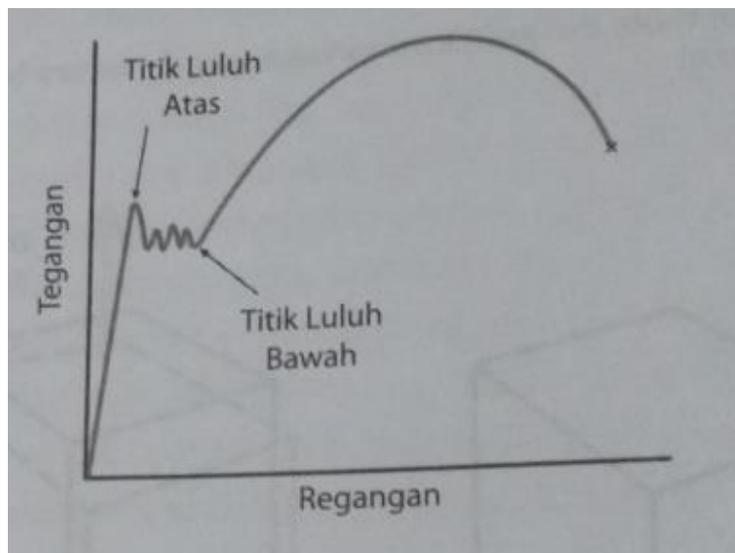


Gambar 11. Daerah deformasi grafik tegangan dan regangan (sumber: Pengantar Material Teknik)

Dari perspektif atom, deformasi plastis berhubungan dengan pemutusan ikatan dengan atom tetangga asal dan pembentukan ikatan dengan tetangga yang baru. Jadi ketika beban dilepas benda tidak dapat kembali ke bentuk semula. Titik di mana deformasi elastis berubah menjadi plastis disebut batas elastis atau batas proporsional yang ditunjukkan oleh titik P pada grafik diatas. Terkadang posisi titik P agak sulit untuk ditentukan. Hal ini disebabkan titik berhentik proporsional antara tegangan dan regangan tidak jelas. Dalam kasus seperti ini sebuah konvensi diberlakukan dimana ditarik sebuah garis

lurus yang sejajar dengan bagian elastis dari kurva pada posisi regangan sebesar 0,002(0,2%) disebut metode offset. Perpotongan antara garis lurus ini dan grafik regangan kemudian dihubungkan dengan sumbu tegangan sehingga diperoleh tegangan luluh. Jadi tegangan luluh didefinisikan sebagai tegangan di mana deformasi plastis mulai atau ketika fenomena luluh terjadi. Tegangan luluh diambil dengan menarik garis lurus pada deformasi 0,002 sering disebut sebagai proof stress, yaitu tegangan yang menyebabkan regangan sebesar 0,002.

Pada beberapa jenis baja (terutama karbon rendah) transisi dari deformasi elastis ke plastis terlihat sangat jelas dan sering disebut sebagai fenomena titik luluh seperti gambar 12 dibawah ini:



Gambar 12.Fenomena titik luluh baja karbon rendah (sumber:Pengantar Material Teknik)

Untuk logam yang menunjukkan fenomena ini, tegangan luluh adalah rata-rata dari titik luluh atas dan titik luluh bawah. Jadi tidak perlu

merlakukan metode offset untuk material seperti ini. Kekuatan luluh dapat bervariasi dari 35 MPa untuk aluminium hingga lebih dari 1.400 MPa untuk baja. Setelah meluluh apabila pembebanan dilanjutkan maka grafik akan mencapai titik maksimum dan kemudian turun ke titik patah. Kekuatan tarik adalah tegangan maksimum pada kurva tegangan-regangan di mana merupakan tegangan maksimum yang dapat diterima material sebelum patah. Namun demikian pada titik maksimum mulai terbentuk leher(neck) yang merupakan daerah deformasi terlokalisasi. Fenomena ini disebut penciutan(necking) dan patah akan terjadi pada titik ini. Tegangan pada saat patah disebut kekuatan patah(fracture strength).

Kekuatan tarik bervariasi dari 50MPa untuk aluminium hingga 3.000 MPa untuk baja berkekuatan tinggi. Umumnya untuk desain struktur atau desain mesin, kekuatan yang dipakai adalah kekuatan luluh. Apabila parameter yang digunakan adalah kekuatan tarik, material sudah mengalami perubahan bentuk(bengkok, melendut) pada kondisi itu. Kekuatan patah umumnya tidak pernah dipakai untuk keperluan desain. Sifat mekanik lainnya yang juga penting adalah keuletan(ductility). Keuletan adalah besarnya deformasi plastis yang dapat dicapai hingga saat patah. Material yang mengalami deformasi yang sangat kecil atau bahkan tidak mengalami deformasi plastis sama sekali, disebut sebagai material yang rapuh(brittle), sebaliknya material yang memiliki keuletan besar disebut material yang

ulet(ductile). Keuletan merupakan sifat material yang penting karena menunjukkan seberapa besar sebuah struktur dapat mengalami deformasi sebelum putus dan menunjukkan seberapa besar derajat deformasi dapat diberikan pada sebuah material selama proses fabrikasi. Umumnya material tergolong sebagai material yang rapuh memiliki keuletan kurang 5%.

Sifat mekanik lain yang dapat diketahui dari uji tarik adalah ketangguhan(toughness). Ketangguhan adalah kemampuan material menyerap energi hingga patah. Material disebut tangguh jika memiliki kekuatan dan keuletan yang tinggi. Pada kondisi pembebanan statis, ketangguhan dapat diketahui dengan mengukur luas daerah dibawah kurva tegangan-regangan. Pada pembebanan dinamis ketangguhan diukur dengan pengujian impak.

6. Pola Patahan Getas

Proses terjadinya patahan getas adalah ketika deformasi plastis yang melibatkan penumpukan dislokasi sepanjang bidang slip pada bagian yang mengalami rintangan, timbulnya tegangan geser pada ujung tumpukan, sehingga terbentuk inti retakan mikro dan pada beberapa kasus energi regangan elastis yang tersimpan mendorong retakan mikro bertambah besar tanpa terjadi gerakan dislokasi lanjutan pada tumpukan. Khusus pada logam, terdapat tahapan pertumbuhan yang berlainan dimana perambatan retakan mikro memerlukan penambahan tegangan. Gagasan bahwa tegangan yang tinggi pada

ujung dislokasi tumpukan menimbulkan retakan (Zener,1948) dengan model seperti gambar 13 dibawah ini:



Gambar 13. Pola patahan getas (sumber: Metalurgi Mekanik)

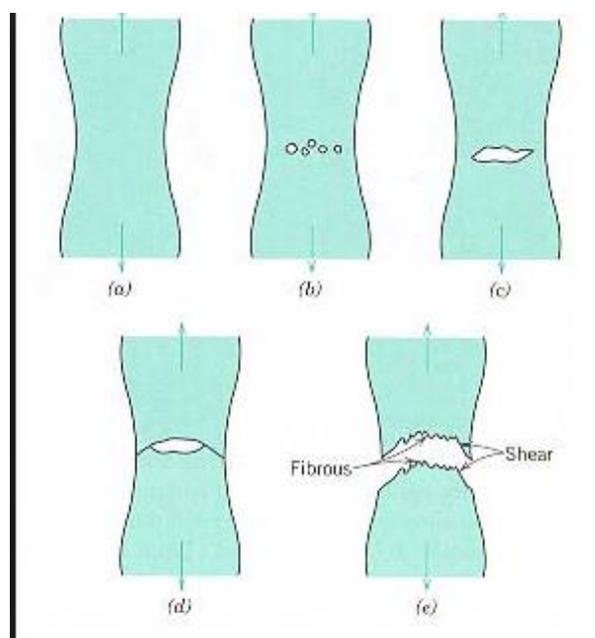
Tegangan geser yang bekerja pada bidang gelincir akan menekan dislokasi secara serentak. Pada suatu harga tegangan kritis, dislokasi rongga dengan tinggi nb dan panjang $2c$. Konsentrasi pada ujung tumpukan tidak hilang akibat deformasi plastis, maka tegangan tarik pada tegangan tarik pada tumpukan dapat disamakan dengan tegangan kohensif (Stroh,1967).

Perlu diperhatikan bahwa hanya tegangan tarik yang menimbulkan dislokasi serentak. Tegangan tarik tidak terlibat dalam proses pembentukan inti retakan, akan tetapi retakan belah dapat terbentuk pada beban tekan. Akan tetapi agar terjadi perambatan retakan, maka diperlukan tegangan tarik. Kenyataan bahwa tegangan normal tidak terlibat dalam pembentukan inti retakan, memberikan kesimpulan bahwa tahap perambatan retakan biasanya lebih sukar

disbanding tahap permulaan retakan pada suatu logam. Terdapat bukti-bukti kuat bahwa pada kebanyakan bahan-bahan teknik tahapan yang paling sulit adalah perambatan deformasi hasil retakan mikro melalui penghalang yang kuat misalkan perbatasan butiran. Oleh karena itu, ukuran butiran mempunyai pengaruh yang besar pada sifat-sifat patah getas.

8. Pola Patahan Ulet

Patahan ulet diakibatkan beban tarikan yang biasanya didahului oleh penurunan secara lokal diameter bahan yang dinamakan penyempitan(necking). Logam-logam yang sangat ulet dapat benar-benar terhambur menjadi garis atau titik sebelum terjadi pemisahan. Bentuk kegagalan tersebut dinamakan pecah. Contoh bentuk pola patahan ulet pada logam seperti gambar 14 dibawah ini.



Gambar 14.Pola patahan ulet pada logam (sumber:Metalurgi Mekanik)

Tahapan-tahapan terjadinya patahan ulet pada logam:(a). Tahapan-tahapan perkembangan patah ulet “cawan dan kerucut” ditunjukkan pada gambar, (b).Penyempitan mulai pada titik ketidakstabilan plastis, di mana kenaikan kekuatan disebabkan oleh pengerasan regangan akan berkurang, untuk mengkompensasi penurunan penampang melintang ini disebabkan oleh beban maksimum, (c).Pembentukan penyempitan menyebabkan keadaan tiga sumbu uji pada pusat daerah penyempitan ada beberapa rongga kecil yang terbentuk pada daerah tersebut dan jika peregangan berlangsung terus, rongga tersebut bertambah besar dan menjadi satu dengan retakan pusat, (d).Retakan ini berkembang pada arah tegak lurus sumbu benda uji hingga mencapai permukaan benda tersebut, (e).Kemudian merambat disekitar bidang geser lokal, kira-kira berarah 45 derajat terhadap sumbu “kerucut” patahan yang terbentuk.

Patahan ulet menunjukkan retakan pusat yang terbentuk cenderung mengumpulkan deformasi pada batas atas pita tegangan tarik yang tinggi. Lembaran rongga-rongga terjadi pada pita tersebut dan rongga-rongga berkembang menyatu ke dalam patahan lokal dari patahan rongga tersebut. Meskipun arah pertumbuhan retakan pada mnya radikal keluar terhadap arah balik sumbu tegangan tarik, tetapi skala yang lebih teliti terdapat suatu lembaran rongga memotong bidang balik dengan arah berliku-liku. Oleh karena itu, pertumbuhan retakan pada patahan ulet, terutama terjadi pada proses bergabungnya

rongga-rongga udara. Penggabungan terjadi melalui pemanjangan rongga-rongga dan jembatan – jembatan material di antara rongga-rongga tersebut. Hal ini memungkinkan pembentukan permukaan patahan yang mengandung “lesung pipi(dimble)” diperpanjang, seperti jika terbentuk dari sejumlah lubang yang kemudian terpisah oleh dinding tipis sehingga terjadi patahan.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan selama 5 bulan, dimulai dari bulan September 2017 sampai dengan Januari 2018.

2. Tempat Penelitian

- a. Pembuatan sampel logam dilaksanakan di departemen pemeliharaan PT Petrokimia Gresik
- b. Pengujian uji tarik logam dengan *Tensile Test Machine* dilaksanakan di bagian Insteksus laboratorium uji mekanik PT Petrokimia Gresik.
- c. Karakterisasi kandungan unsur penyusunan logam dengan menggunakan *XRF(X-Rays Flourescence)* dan *OES(Optical Emision Spectroscopy)* dilaksanakan di bagian Insteksus laboratorium uji mekanik PT Petrokimia Gresik.

B. Variabel Dalam Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis logam untuk pengujian yaitu tipe logam *Steinless Steel* dan *Alloy Steel*.

2. Variabel Kontrol

Variabel kontrol pada penelitian ini adalah massa dan gaya yang diberikan *Tensile Test Machine* kepada logam yang diuji.

3. Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah pertambahan panjang logam, besar kekuatan tarik logam, besar kekuatan *Strain* dan *Strees*, pola patahan logam uji dan struktur atom penyusunnya, selain itu diameter logam sebelum dan sesudah pengujian dan juga besarnya modulus elastisitas logam uji.

C. Bahan dan Alat Penelitian

1. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Logam uji SS 304, SS 310 yang merupakan tipe *Stainless Steel*.
- b. Logam uji *Low Alloy* yang merupakan tipe *Alloy steel*.

2. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. *Tensile test Machine* yang berfungsi sebagai mesin uji tarik logam dengan keluaran hasil *Stress* maupun *Strain*.
- b. *ASTM* petunjuk internasional mengenai standarisasi teknik untuk material, produk, sistem dan jasa.
- c. 1 buah laptop sebagai pengolah dan analisis data hasil penelitian.

- d. 1 buah penggaris digunakan untuk menghitung perlakuan awal logam uji dan hasil akhir logam uji.
- e. *Arc Met 8000* sebagai alat uji kandungan atom penyusun logam yang menggunakan prinsip *Optical Emission Spectroscopy*.
- f. *X-Ray Fluorescence Niton XL2 GOLDD* sebagai alat uji kandungan atom penyusun logam dengan penembakan dan karakterisasi sinar X.
- g. 1 buah jangka sorong digunakan untuk mengukur besarnya diameter logam awal pengujian dan akhir pengujian.
- h. Mesin pemotong logam digunakan untuk membuat sample logam uji sesuai paduan dalam standar pengujian.
- i. Mesin penghalus logam digunakan untuk menghaluskan logam dari korosi yang terjadi.

D. Langkah Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan berbagai tahapan :

1. Tahap penentuan spesimen

- a. Spesimen untuk uji komposisi dan persentase kandungan unsur.

Bahan untuk uji komposisi dan persentase kandungan unsur dalam penelitian ini adalah logam baja karbon SS304, SS310 dan *Low Alloy* sesuai dengan ASTM. Spesimen berbentuk lempengan yang kemudian dihaluskan pada permukaannya.

b. Spesimen untuk uji *Tensile*.

Bahan yang akan uji elastisitasnya masih sama yakni logam SS304, SS310 dan *Low Alloy*. Perlakuan sama pada masing-masing spesimen yakni dengan memberikan jarak putus yang sama (0.3 cm) pada setiap pengujian *tensile* menggunakan *Tensile Test Machine*.

2. Tahap pengujian *Tensile* dengan menggunakan *Tensile Test Machine* :

a. Menyiapkan spesimen berupa baja logam SS304, SS310 dan *Low Alloy*.

b. Kemudian spesimen haluskan dengan menggunakan ampelas grade 200 sampai 1500.

c. Membersihkan spesimen.

d. Membentuk spesimen sesuai standar *ASTM*.

e. Menguji dengan menggunakan *Tensile Test Machine* untuk mengetahui tingkat elastisitas pada baja spesimen.

f. Sampel diletakkan di meja preparat mesin uji kemudian ditarik hingga putus oleh mesin.

g. Data keluaran muncul pada layar monitor adalah tabel *Strain* dan *Force*, dan juga grafik hubungan *Strain* dan *Force*.

3. Tahap karakterisasi kandungan unsur kimia dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence (XRF)*:

a. Menyiapkan spesimen, spesimen yang digunakan masih sama dengan spesimen sebelumnya.

- b. Kemudian spesimen haluskan dengan menggunakan ampelas grade 200 sampai 1500.
- c. Membersihkan spesimen.
- d. Mengkarakterisasi spesimen dengan alat uji *Niton XL2 GOLDD* yang berbasis *X-Ray Fluorescence* (XRF) berfungsi untuk mengetahui variasi unsur kimia serta persentase unsur yang terkandung pada baja sampel.
- e. Mengarahkan Sinar-X menuju pada permukaan benda yang diuji.
Sinar-X ini menyebabkan elektron-elektron yang terdapat pada benda uji keluar dari orbitnya. Karena elektron keluar dari orbitnya maka terjadi kekosongan dan elektron yang berada di kulit lain mengisi kekosongan tersebut, sehingga menghasilkan sinar-X karakteristik.
- f. Kemudian diterima oleh detektor dan diubah menjadi sinyal listrik kemudian diteruskan ke pre-amp.
Pre-Amp menguatkan sinyal tersebut dan mengirimkannya ke *Digital Signal Processor* (DSP). DSP mengumpulkan dan men-*digitalisasi* hasil dari sinar-X dan mengirimkan hasil spektrum ke CPU untuk diproses.
- g. Diproses oleh CPU secara matematis mengubah spektrum sinar-X menjadi analisis komposisi secara detail.

4. Tahap karakterisasi kandungan unsur kimia dengan menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES):
 - a. Menyiapkan spesimen, spesimen yang digunakan masih sama dengan spesimen sebelumnya.
 - b. Kemudian spesimen haluskan dengan menggunakan ampelas grade 200 sampai 1500.
 - c. Mengkarakterisasi spesimen dengan alat uji *Arc Met 8000* yang berbasis *Optical Emission Spectroscopy* (OES) untuk mengetahui variasi unsur kimia serta persentase.
 - d. Sampel diletakkan di mulut mesin uji dan ditembakkan gas argon.
 - e. Kemudian data muncul pada layar monitor.

E. Analisis Data

Data yang diperoleh merupakan data hasil pengujian dengan *Tensile Test Machine* dan menggunakan alat *XRF(X-Ray Fluorescence) Niton XL2 GOLDD*(berkerja berdasarkan prinsip *XRF*) dan *Arc Met 8000* (berkerja berdasarkan prinsip *OES(Optical Emision Spectroscopy)*). Untuk *Tensile Test Machine* adalah berupa data dan grafik sebagai fungsi *Strain* dengan Force dan untuk *XRF(X-Ray Fluorescence) Niton XL2 GOLDD* adalah berupa spektrum sebagai fungsi cacah dengan energi intensitas kandungan atom dan tabel kandungan unsur penyusun logam uji dengan kandungan intensitas kandunganya. *Arc Met 8000* adalah tabel kandungan unsur penyusun logam uji.

F. Diagram Alir Tahap Penelitian

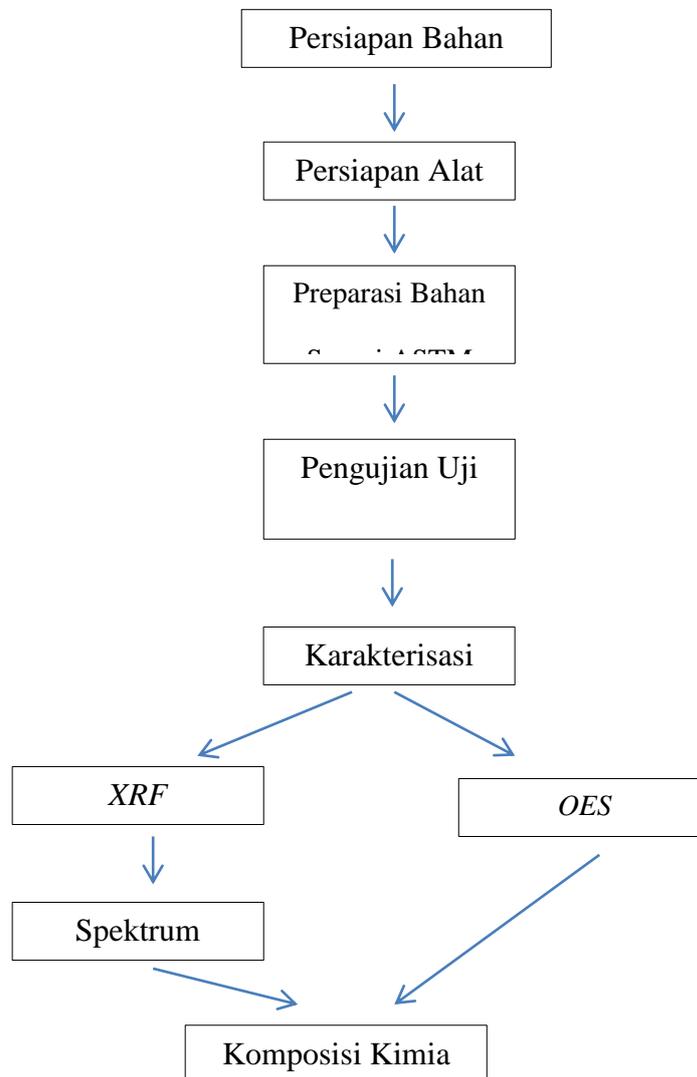


Diagram 1. Diagram Alir Tahap Penelitian

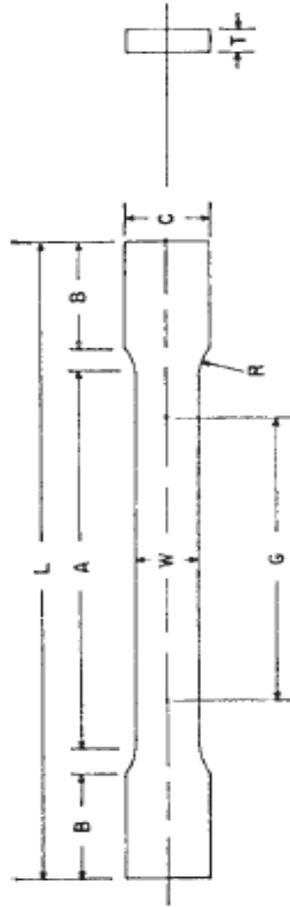
BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Tarik Logam SS 304, SS 310 dan *Low Alloy* dengan *Tensile Test Machine*

Untuk mendapatkan data riset dan sifat khusus dari logam *Steinless Steel* dan *Alloy Steel* dilakukan pengujian utama dalam proses industri PT Petrokimia diantaranya pengujian tersebut adalah pengujian tarik (*Tensile Test*) untuk mengetahui sifat mekanik dari logam uji. Pengujian dilakukan untuk memperoleh data besarnya *Stress* dan *Strain* dalam proses pengujian sampel logam. *Tensile Test Machine* untuk mengetahui elastisitas dan kekuatan dari logam, dalam penelitian ini digunakan logam dengan nama sampel SS 304, SS 310 dan *Low Alloy* sehingga dalam pengujian didapatkan grafik hubungan antara *Strain* dan *Stress* yang diberikan pada logam uji, tabel besarnya gaya dan *Strain*, dan juga didapatkan kekuatan masing masing logam uji, sebelum dilakukan pengujian sampel logam dengan menggunakan *Tensile Test Machine*, logam uji diberi perlakuan awal yaitu mengukur panjang awal logam uji, diameter awal logam uji dan batas jarak putus logam atau daerah patahan logam sesuai pedoman pada ASTM 370 seperti tabel 1 dan tabel 2 dibawah ini.

Tabel 1. Standar Pengujian *Tensile* Logam



DIMENSIONS

	Standard Specimens		Subsize Specimen	
	Plate-Type, 1½-in. Wide	Sheet-Type, ½-in. Wide	¼-in. Wide	mm
G—Gage length (Notes 1 and 2)	8.00 ± 0.01	2.000 ± 0.005	1.000 ± 0.003	25.0 ± 0.08
W—Width (Notes 3, 5, and 6)	1½ + ⅛ - ¼	40 + 3 - 6	0.250 ± 0.002	6.25 ± 0.05
T—Thickness (Note 7)	½	13	¼	6
R—Radius of fillet, min (Note 4)	18	450	4	100
L—Over-all length, min (Notes 2 and 8)	9	225	1¼	32
A—Length of reduced section, min	3	75	1¼	32
B—Length of grip section, min (Note 9)	2	50	¾	10
C—Width of grip section, approximate (Notes 4, 10, and 11)				

Tabel 2. Data diameter awal, panjang awal dan batas jarak putus logam uji SS 304, SS 310 dan *Low Alloy*.

Standar Pengujian	Jenis Logam		
	SS 304	SS 310	<i>Low Alloy</i>
Diameter awal logam uji(m)	0,03	0,03	0,02
Panjang awal logam uji(m)	1,28	1,2	1,6
Batas jarak putus(m)	0,3	0,3	0,3

Data tabel 1 dan tabel 2 adalah merupakan data awal pengujian logam dengan menentukan diameter awal, panjang awal logam dan batas putus logam uji SS 304, SS 310 dan *Low Alloy* yang sesuai dengan pedoman dari *ASTM* dan didapatkan hasil data setelah pengujian menggunakan *Tensile Test Machine* berupa data diameter akhir, panjang akhir, kekuatan logam, *Stress*(tegangan), *Strain*(regangan) dan modulus elastisitas logam uji SS 304, SS 310 dan *Low Alloy* seperti tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Data Hasil pengujian diameter akhir, panjang akhir, kekuatan tarik, *Stress*, *Strain* dan Modulus Elastisitas dari logam uji SS 304, SS 310 dan *Low Alloy*.

Hasil Pengujian	Jenis Logam		
	SS 304	SS 310	<i>Low Alloy</i>
Diameter akhir logam uji(m)	0,015	0,02	0,02
Panjang akhir logam uji(m)	1,3	1,26	1,65
Kekuatan tarik logam uji(kg/cm ²)	342,20	260,6	201,90
<i>Stress</i> (tegangan logam uji)(N/m ²)	3.355 x 10 ⁴	2.623 x 10 ⁴	1.979 x 10 ⁴
<i>Strain</i> (regangan logam uji)	11	12	6
Modulus Elastisitas(N/m ²)	305 x 10 ⁴	218,6 x 10 ⁴	329,8 x 10 ⁴

Tabel pengukuran *Tensile Test* logam SS 304, SS 310 dan *Low Alloy* seperti tabel 4, tabel 5 dan tabel 6 dibawah ini.

Tabel 4. Hasil *Tensile Test* SS 304

<i>Strain</i>	<i>Force(kg)</i>
0	0
1	150
2	260
3	280
4	290
5	300
6	310
7	320.8
8	330
9	340
10	342
11	342.2
12	329.8
13	250
14	0
15	0

Tabel 5. Hasil *Tensile Test* SS 310

<i>Strain</i>	<i>Force(kg)</i>
0	0
1	100
2	160
3	190
4	200
5	210
6	220
7	230
8	240
9	250
10	255
11	260
12	260.6
13	260.4
14	260
15	210.6
16	0
17	0

Tabel 6. Hasil *Tensile Test* Low Alloy

<i>Strain</i>	<i>Force(kg)</i>
0	0
1	50
2	140
3	170
4	180
5	190
6	201.9
7	190
8	0
9	0

Dalam pengujian menggunakan *Tensile Test Machine* didapatkan data antara *Strain* dan *Force*(gaya pembebanan) pada tabel 4, 5 dan 6 maka juga didapatkan grafik hubungan antara *Strain* dan *Force* seperti dibawah ini.

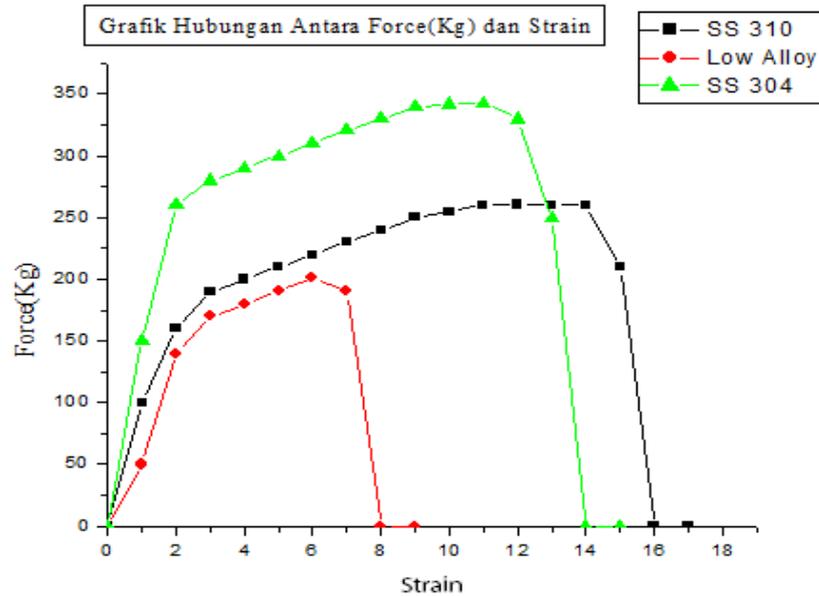


Diagram 2. Grafik *Tensile Test* SS 304, SS 310 dan *Low Alloy*

Dari hasil grafik hubungan antara *Strain* dan *Force* seperti gambar diatas dihasilkan tabel pengukuran kekuatan tarik logam SS 304, SS 310 dan *Low Alloy* seperti tabel 7 berikut ini.

Tabel 7. Hasil pengukuran kekuatan tarik logam SS 304, SS 310 dan *Low Alloy*.

Logam	Kekuatan Tarik (kg/cm ²)
SS 304	342,20
SS 310	260,6
<i>Low Alloy</i>	201,90

Untuk menentukan besarnya *Stress*, *Strain* maupun modulus elastisitas dapat ditentukan dari grafik hasil pengambilan data pengujian tarik logam dengan pedoman seperti gambar di bawah ini yaitu grafik hubungan antara *Stress* dan *Strain*.

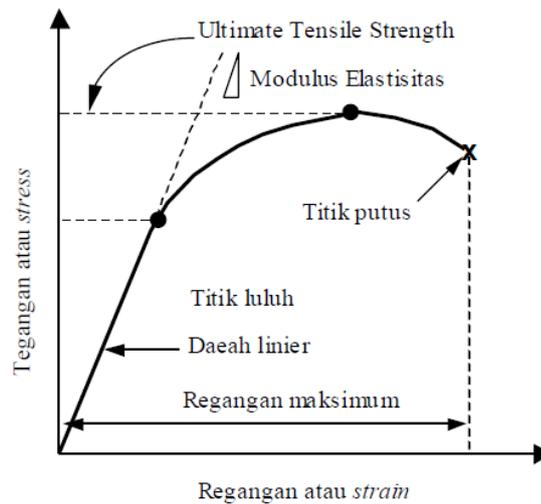


Diagram 3. Grafik Hubungan Strain dan Stress

Dari penjelasan grafik diatas dapat diketahui bahwa kurva yang berbentuk linear atau garis lurus merupakan daerah elastisitas dari material maupun logam uji dan untuk kurya yang berbentuk parabolik merupakan daerah modulus elastisitas dari logam uji dan merupakan daerah plastis sehingga kurva linear sampai dengan kurva parabolik adalah daerah *Strain* maksimum sebelum logam mengalami patah atau disebut daerah fracture yang ditunjukkan oleh tanda x. *Stress* atau tegangan didapatkan dari pengaruh gaya dari luar terhadap luasan logam sehingga logam mengalami deformasi bentuk sementara *Strain* atau regangan didapatkan dari perubahan panjang logam uji awal sebelum pengujian dengan perubahan panjang logam uji setelah pengujian dan modulus elastisitas atau modulus Young dari logam uji

didapatkan dari perbandingan antara besarnya *Stress* dan *Strain* yang didapatkan.

Pengujian sampel logam menggunakan *Tensile Test Machine* didapatkan logam SS 304 menghasilkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 342,20 kg/cm², logam SS 310 menghasilkan kekuatan tarik sebesar 260,60 kg/cm² dan *Low Alloy* menghasilkan kekuatan tarik sebesar 201.90 kg/cm². Didapatkan nilai *Strain* tertinggi dihasilkan dari logam SS 310 dengan besarnya 12, logam SS 304 nilai *Strainnya* sebesar 11 dan *Low Alloy* nilai *strainnya* sebesar 6 sementara nilai *Stress* dari logam SS 304 adalah 3.355×10^4 N/m², logam SS 310 adalah 2.623×10^4 N/m² dan logam *Low Alloy* adalah 1.979×10^4 N/m². Nilai Modulus Elastisitas terbesar dihasilkan dari logam *Low Alloy* sebesar 305×10^4 N/m², logam SS 304 sebesar $218,6 \times 10^4$ N/m² dan logam SS 310 sebesar $329,8 \times 10^4$ N/m².

Pola patahan logam untuk SS 304 berupa patahan getas, logam SS 310 berupa patahan ulet sementara *Low Alloy* berupa patahan getas. Dalam bidang industri logam tipe SS 304 digunakan pada tangki kimia dan tungsten, logam SS 310 di gunakan pada heat exchanger dan tabung asam atau tabung bertekanan tinggi dan *Low Alloy* digunakan sebagai desain bangunan pabrik.

B. Karakterisasi Komposisi Kandungan Kimia Logam SS 304, SS 310 dan *Low Alloy*

1. Karakterisasi Komposisi Kandungan Kimia Logam SS 304, SS 310 dan *Low Alloy* dengan XRF(X-Ray *Flourescence*) Niton XL2 GOLDD

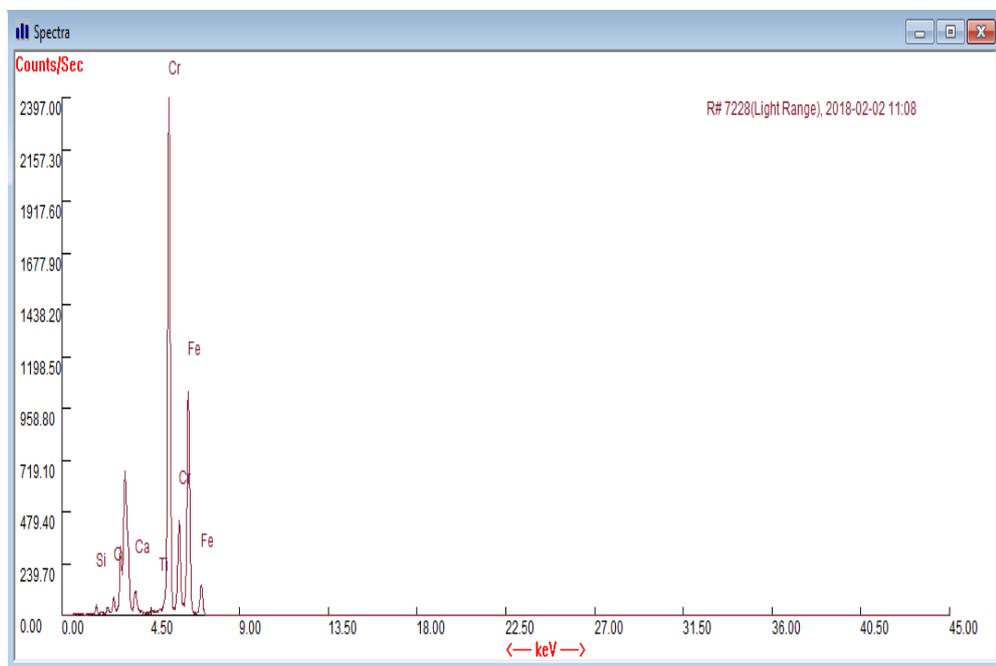
X-Ray Flourescence adalah sebuah teknik berbasis Sinar-X yang dapat digunakan untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi dari elemen pada setiap unsur. *Flourescences* adalah sebuah fenomena penyerapan radiasi yang datang dan memancarkan radiasi kembali dengan energi radiasi yang lebih rendah. Sebuah atom yang stabil terdiri dari inti dan elektron yang mengelilingi orbit.

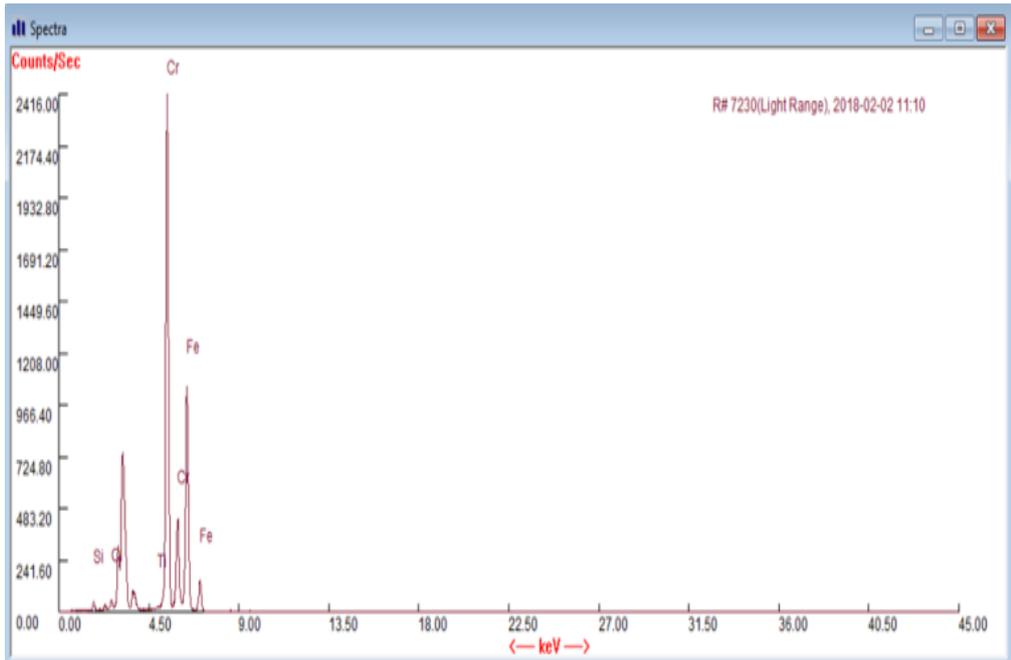
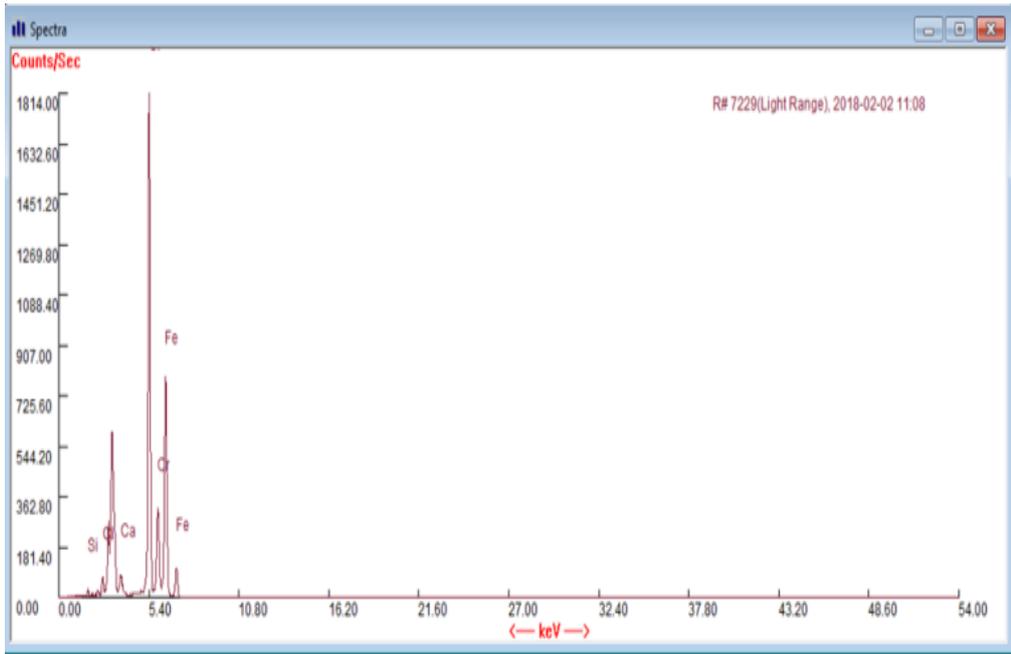
Pada skala atom, cahaya tampak *flourescence* disebabkan adanya cahaya ultraviolet dengan energi elektron rendah keluar dari lintasan elektron yang lebih luar, sehingga untuk mencapai kestabilan kembali, elektron dengan tingkat energi lebih tinggi mengisi kekosongan pada ruang tersebut. Perpindahan tersebut menghasilkan energi spesifik dalam bentuk cahaya tampak pada energi tertentu yang disebut sebagai karakteristik *X-Ray*.

Energi pada *XRF* adalah karakteristik level energi dari lintasan elektron tiap elemen. Level energi berbeda untuk setiap elemen. Dengan analisis energi pada spektrum *XRF* yang diemisikan oleh sebuah zat, dapat ditentukan elemen yang ada pada unsur dan konsentrsai tiap zat. Informasi ini dibutuhkan untuk mengidentifikasi suatu unsur.

Alat *Niton XL2 GOLDD* memiliki cara kerja yaitu Sinar-X diarahkan pada permukaan benda yang diuji. Energi sinar-X ini menyebabkan elektron-elektron yang terdapat pada benda uji keluar dari orbitnya. Karena elektron keluar dari orbitnya maka terjadi kekosongan dan elektron yang berada di kulit lain mengisi kekosongan tersebut, sehingga menghasilkan sinar-X. Berikut ini adalah tampilan spektrum *XRF* dan tabel kandungan unsur dari logam SS 304, SS 310 dan *Low Alloy*.

Diagram 3. Hasil spektrum logam SS 304



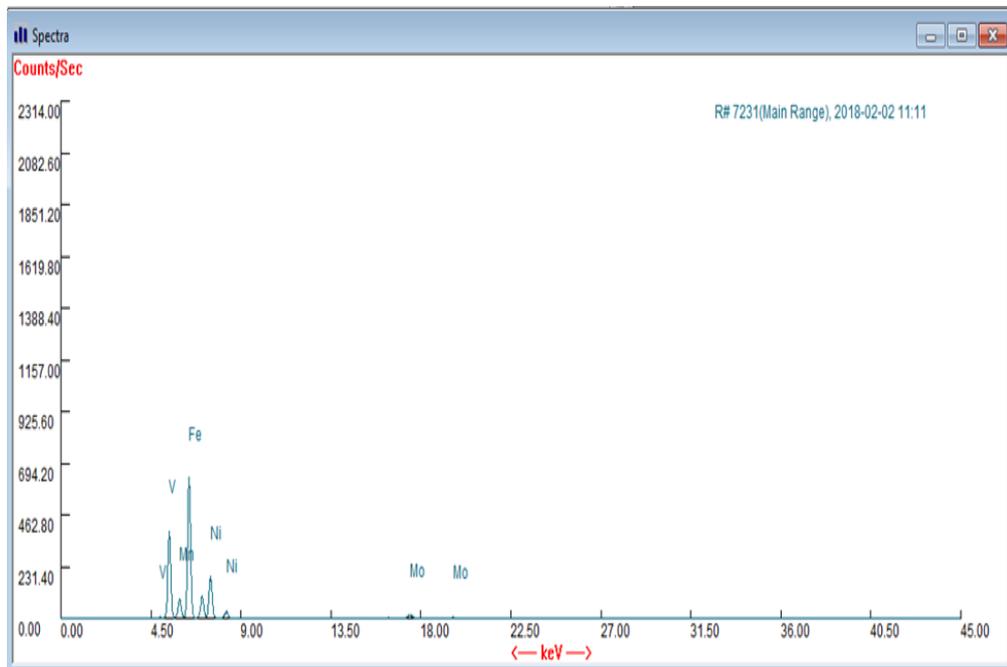


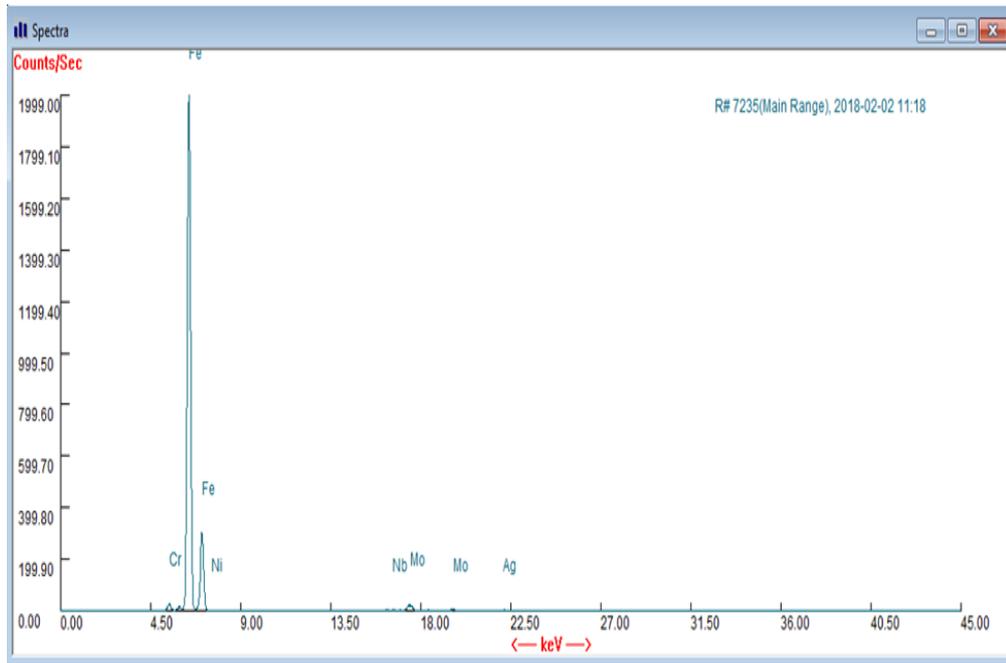
Tabel 8. Peak dan Presentase Komposisi Kimia SS 304

Logam SS 304										
ke	Peak									
	Ni	Fe	Mn	Cr	V	S	Si	P	Co	Mo
1	58.22	841.44	65.07	306.16	2.74	0.34	0.34	1.03	143.14	11.64
2	60.88	780.07	72.43	304.62	2.99	1	1	0.66	129.24	9.97
3	61.68	826.8	70.79	298.29	2.06	0.66	0.66	0.66	135.4	9.97
Rata-rata	60.26	816.1033	69.43	303.0233	2.596667	0.666667	0.666667	0.783333	135.9267	10.52667
Presentase Kandungan Unsur Penyusun Logam										
1	7.587	70.124	1.329	17.939	0.069	0.189	2.195	0.134	0.379	0.072
2	7.866	70.241	1.382	17.986	0.125	0.162	1.646	0.075	0.454	0.044
3	7.656	69.963	1.241	17.956	0.111	0.131	2.327	0.049	0.389	0.072
Rata-rata	7.703	70.10933	1.317333	17.96033	0.101667	0.160667	2.056	0.086	0.407333	0.062667

Dari hasil *XRF* diatas dapat diketahui bahwa dalam karakterisasi komposisi kimia logam SS 304 yang dilakukan sebanyak 3 kali pengambilan data.

Diagram 4. Hasil spektrum logam SS 310



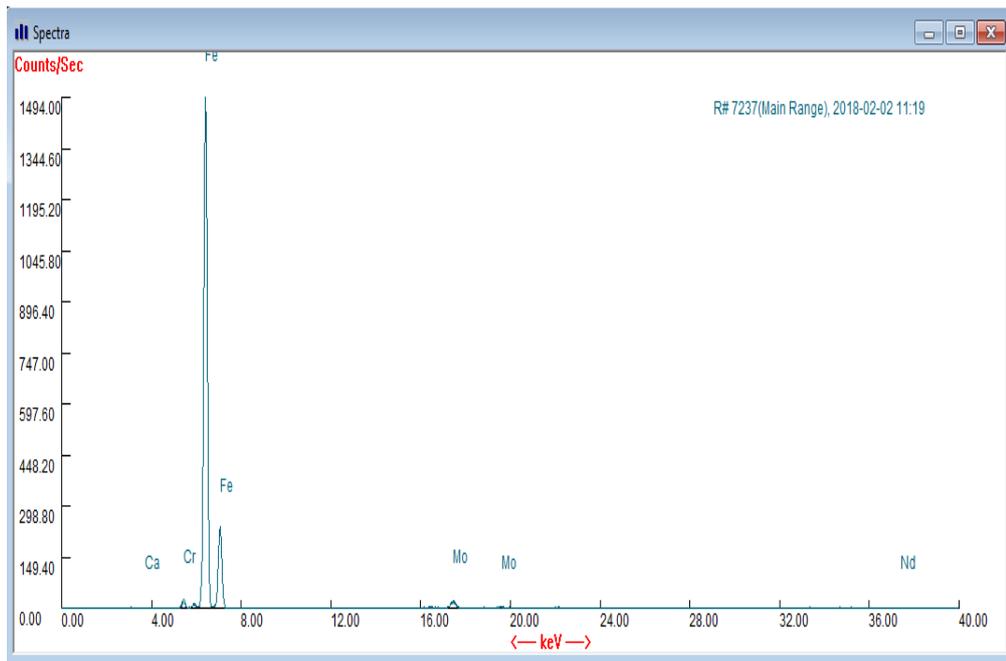
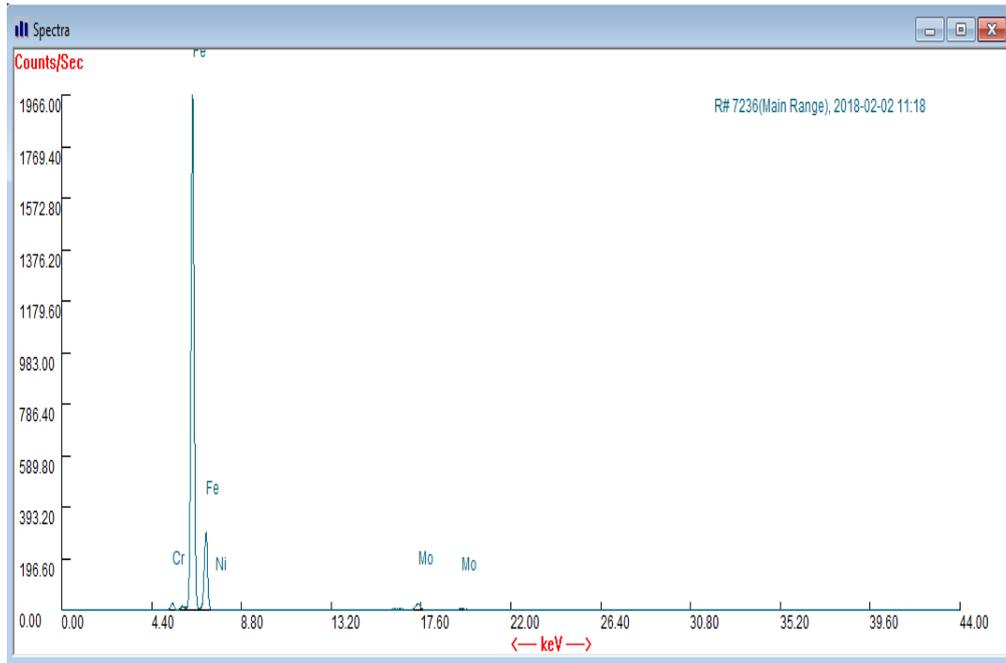


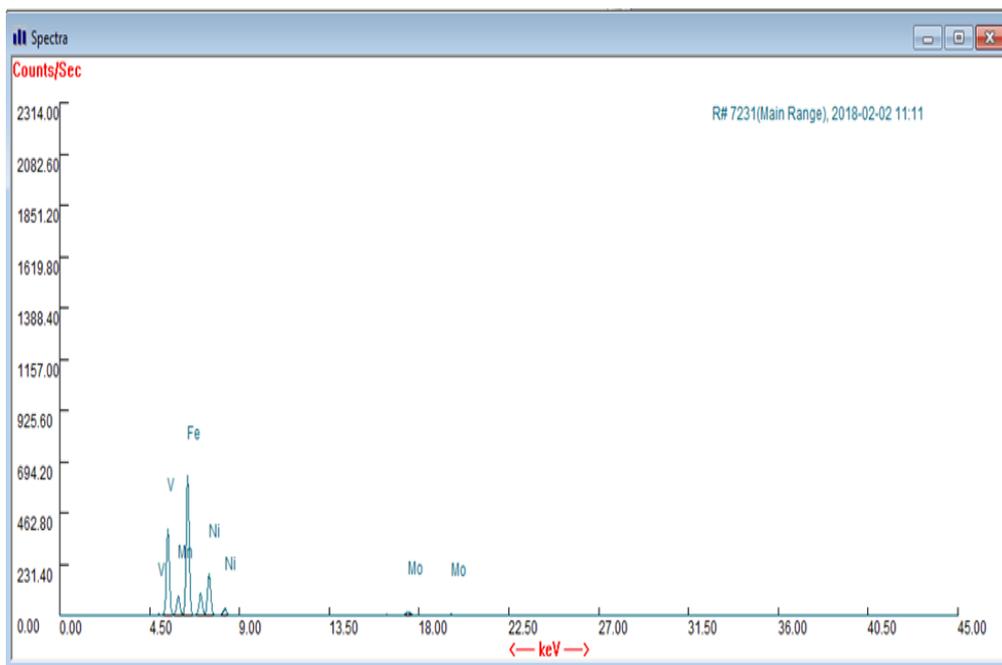
Tabel 9. Peak dan Presentase Komposisi Kimia SS 310

Logam SS 310							
ke	Peak						
	Mo	Ni	Fe	Mn	Cr	V	Si
1	11.3	184.59	599.32	80.48	366.78	4.11	1.03
2	13.65	170.31	584.64	85.67	353.58	2.73	0.68
Rata-rata	12.475	177.45	591.98	83.075	360.18	3.42	0.855
Presentase Kandungan Unsur Penyusun Logam							
1	0.115	19.525	53.686	1.474	23.92	0.181	1.097
2	0.11	19.126	53.719	1.549	23.872	0.144	1.036
Rata-rata	0.1125	19.3255	53.7025	1.5115	23.896	0.1625	1.0665

Dari hasil *XRF* diatas dapat diketahui bahwa dalam karakterisasi komposisi kimia logam SS 310 yang dilakukan sebanyak 2 kali pengambilan data.

Diagram 5. Hasil spektrum logam *Low Alloy*





Tabel 10. Peak dan Presentase Komposisi Kimia *Low Alloy*

Low Alloy					
ke	Peak				
	Mo	Ni	Fe	Mn	Cr
1	22.93	16.24	1942.04	13.38	22.61
2	23.45	40.27	1912.39	13.72	24.34
3	21.31	21.31	1418.03	11.48	24.59
Rata-rata	22.56333	25.94	1757.487	12.86	23.84667
Presentase Kandungan Unsur Penyusun Logam					
1	0.407	0.08	95.557	0.47	0.922
2	0.457	0.098	98.148	0.544	0.934
3	0.513	0.087	97.939	0.385	0.981
Rata-rata	0.459	0.088333	97.21467	0.466333	0.945667

Dari hasil *XRF* diatas dapat diketahui bahwa dalam karakterisasi komposisi kimia logam *Low Alloy* yang dilakukan sebanyak 3 kali pengambilan data.

Hasil yang diperoleh dari pengujian menggunakan *Niton XL2 GOLDD* dengan prinsip *X-Ray Fluorescence(XRF)* yaitu berupa konsentrasi unsur yang terdapat pada logam yang diuji. Kandungan unsur

ini berdasarkan pada jumlah pancaran sinar-X berenergi tinggi yang mengenai permukaan benda uji lalu dipancarkan kembali. Dapat dilihat spektra *X-Ray* $K\alpha$ yaitu transisi elektron dari kulit L ke kulit K dan *X-Ray* $K\beta$ dihasilkan dari transisi elektron dari kulit M menuju kulit K, dll. Material bahan uji yang dipakai adalah logam SS 304, SS 310 dan *Low Alloy*.

(ASTM A240 - *Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications*) merupakan standar yang digunakan sebagai acuan atau batas dari suatu komposisi yang dibutuhkan oleh suatu industri. Logam dengan tipe SS 304 masuk dalam kelompok *Stainless Steel Austenitic*. Kelompok logam *Austenitic* memiliki kandungan krom pada kisaran 18% - 20% dan nikel pada kisaran 8% - 10.5% dan beberapa unsur atau elemen tambahan dalam upaya mencapai sifat yang diinginkan dan termasuk dalam non magnetik. Logam SS 304 ini memiliki kandungan krom (Cr) yang tinggi sedikitnya 17% - 18%, sehingga konsentrasi Krom pada penelitian ini terbaca sebesar 17.96033 % seluruh kategori dalam logam *Stainless Steel* didasarkan pada kandungan kromnya, konsentrasi Si terbaca 2.05% serta Mn 1.31733% dan Nikel sebesar 7.703%. Nikel (Ni) memiliki tujuan mempertahankan struktur *austenitic*-nya, nikel juga meningkatkan keuletan yang berpengaruh pada besarnya *Strain* pada saat pengujian mekanik menggunakan *Tensile Test Machine*.

Material dengan bahan uji logam SS 310 menurut spesifikasinya mempunyai kadar krom(Cr) yaitu 24,00%-26,00% dan nikel(Ni) sebesar 19,00%-22,00%. Hasil yang didapat dari pengujian material logam SS 310 menggunakan *Niton XL2 GOLDD* yang berbasis *X-Ray Fluorescence(XRF)* hasil uji unsur nikel (Ni) sebesar 19.3255%, krom (Cr) sebesar 23.896%, Mo sebesar 0.1125%, Mn sebesar 1.5115% dan Si sebesar 1.0665%. Dari hasil tersebut diketahui bahwa kandungan nikelnya lebih besar dari SS 304 yang menyebabkan keuletan logam SS 310 lebih tinggi daripada logam SS 304.

Sementara untuk *Low Alloy* menggunakan (*A 350/A 350M – 04 Standard Specification for Carbon and Low-Alloy Steel Forgings, Requiring Notch Toughness Testing for Piping Components*) yang memiliki kisaran krom(Cr) sebesar 0.60–0.90% kandungan mangan(Mn) sebesar 0.40–0.70%. Hasil yang didapat dari pengujian material logam *Low Alloy* menggunakan *Niton XL2 GOLDD* yang berbasis *X-Ray Fluorescence(XRF)* hasil uji unsur nikel (Ni) sebesar 0.09%, krom (Cr) sebesar 0.9%, Mo sebesar 0.459%, Mn sebesar 0.466333% dan Si sebesar 0.088333%. Sehingga *Low Alloy* kandungan nikelnya lebih kecil dari SS 304 dan SS 310 yang mengakibatkan keuletan logamnya rendah dan apabila diuji menggunakan *Tensile Test Machine* logamnya mudah patah.

2. Karakterisasi Komposisi Kandungan Kimia Logam SS 304, SS 310 dan *Low Alloy* dengan *Arc Met 8000*

Optical Emission Spectroscopy (OES) merupakan alat spektroskopi yang digunakan untuk pengukuran secara kuantitatif emisi optik dari eksitasi atom untuk menjelaskan analisis konsentrasi suatu unsur material. Analisis sampel pada *OES* didasarkan karena adanya pemecahan energi yang direpresentasikan dalam bentuk panjang gelombang dan melibatkan pergerakan elektron didalam suatu atom.

Seperangkat *Arc Met 8000* terdiri dari sebuah *probe*, *console* yang dilengkapi dengan gas container, dan *power supply*. Gas argon berfungsi untuk mengisolasi sampel yang diuji agar tidak terhubung dengan lingkungan luar. Gas Argon yang ditembakkan pada sampel logam uji mengakibatkan eksitasi elektron dan elektron yang mengalami eksitasi ditangkap oleh detector.

Karakterisasi sampel logam dengan menggunakan alat didapatkan kandungan komposisi logam SS304, SS 310 dan *Low Alloy* seperti tabel 11, tabel 12 dan tabel 13 dibawah ini:

Tabel 11. Data hasil uji OES pada SS304

Measurement name : SS304					
Element	Last Result	SS304 .3	SS304 .2	SS304 .1	SS304 .0
Fe	70.46	71.18	71.07	70.53	68.74
C	0.050	0.109	0.095	0.102	(0.531)
Si	0.388	0.585	0.545	0.508	1.100
Mn	1.598	1.372	1.412	1.562	1.824
Cr	19.39	18.86	19.13	19.66	19.85
Ni	6.703	7.016	7.069	6.816	7.259
Mo	0.011	0.130	0.085	0.047	0.217
Cu	0.039	0.037	0.035	0.025	0.007
Ti	0.009	0.011	0.012	0.013	0.024
Nb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.014	0.025	0.029	0.026	0.046
V	0.082	0.075	0.073	0.068	0.062
W	0.182	0.013	0.025	0.064	0.046
Ca	0.525	0.223	0.268	0.342	0.194
S	(0.240)	(0.127)	(0.207)	(0.183)	(0.239)
P	0.334	0.261	(0.000)	0.096	(0.000)

Tabel 12. Data hasil uji OES pada SS 310

Measurement name : SS310					
Element	Last Result	SS310 .3	SS310 .2	SS310 .1	SS310 .0
Fe	54.33	53.69	52.67	57.25	77.80
C	0.089	0.192	(0.590)	(3.053)	(0.000)
Si	0.630	0.802	1.643	0.217	2.856
Mn	1.603	1.276	0.760	0.798	2.740
Cr	25.19	23.43	21.95	27.91	(48.43)
Ni	17.66	20.07	22.59	14.32	2.785
Mo	0.154	0.211	0.189	0.248	0.078
Cu	0.025	0.012	0.000	0.003	0.089
Ti	0.001	0.011	0.038	0.067	0.200
Nb	0.057	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)
Al	0.000	0.016	0.050	0.083	0.256
V	0.132	0.107	0.053	0.032	(0.000)
W	0.003	0.024	(0.000)	0.000	0.068
Ca	0.101	0.108	0.176	0.173	0.579
S	(0.116)	(0.085)	(0.135)	(0.141)	(0.223)
P	0.000	0.088	0.300	(0.000)	(0.897)

Tabel 13. Data hasil uji OES pada *Low Alloy*

Measurement name : Low Alloy					
Element	Last Result	Low Alloy .3	Low Alloy .2	Low Alloy .1	Low Alloy .0
Fe	95.71	96.12	94.83	93.71	99.84
C	1.396	(1.750)	(1.785)	(2.671)	(0.000)
Si	1.676	1.703	2.175	(2.137)	(5.876)
Mn	0.576	0.588	0.577	0.518	0.446
Cr	1.107	1.010	1.142	0.875	1.438
Ni	0.263	0.288	0.221	0.207	0.377
Mo	0.322	0.323	0.300	0.387	0.276
Cu	0.222	0.251	0.334	0.256	1.026
Al	0.027	0.038	0.046	0.097	0.545
V	0.005	0.001	0.000	0.006	0.002
W	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
Ti	0.101	0.100	0.114	0.106	0.185
Nb	0.036	0.015	0.008	0.08	(0.000)
B	(0.047)	(0.064)	(0.065)	(0.111)	(0.000)
S	(0.000)	0.000	0.021	0.000	(0.000)
P	(0.000)	0.093	(0.000)	0.144	0.017

Optical Emission Spectroscopy (OES) merupakan suatu alat yang digunakan untuk menentukan karakteristik suatu material dengan prinsip spektroskopi. *OES* menganalisis sampel berdasarkan adanya pemecahan energi yang direpresentasikan dalam bentuk panjang gelombang. *OES* merupakan jenis spektroskopi atomik, yang berarti bahwa proses analisis melibatkan pergerakan elektron di dalam suatu atom.

Hasil analisis *OES* tidak hanya berupa panjang gelombang yang merepresentasikan jenis unsur, tetapi juga nilai intensitas. Intensitas merupakan suatu besaran yang menunjukkan banyaknya energi yang dipancarkan oleh suatu sumber. Intensitas dalam kaitannya dengan *OES* berarti banyaknya energi yang dipancarkan oleh elektron dalam unsur tertentu

ketika mengalami deeksitasi. Intensitas energi yang dipancarkan oleh unsur di dalam logam berhubungan dengan nilai konsentrasi unsur tersebut.

Pada pengujian ini, *OES* yang digunakan yaitu jenis *ARC Met 8000* yang merupakan produksi dari *Oxford Instrument Analytical Oy*. *Arc Met 8000* memiliki beberapa metode penyajian yaitu *Low Alloy Steels*, *High Alloy Steels* dan model lain seperti aluminium, tembaga, nikel, kobalt, magnesium, zirconium, dan titanium. *Arc Met 8000 Mobile Lab Portable Spectrometer* merupakan spektrometer portable yang sangat ideal untuk menentukan semua elemen di *Carbon Steels*, *Alloy Steels*, dan *Stainless Steel*.

Pada pengujian material menggunakan *OES* harus memperhatikan standart keamanan alat. Salah satunya untuk menghindari panas akibat proses *burning*, dapat digunakan kain untuk memegang sampel. Selain itu, preparasi sampel juga menentukan hasil. Preparasi sampel yang benar yaitu sampel di gerinda sampai halus kemudian dibersihkan hingga benar-benar bersih, begitu juga dengan *window probe* harus dibersihkan sampai tidak ada partikel yang menempel.

Untuk pengujian material logam SS 304 digunakan metode kalibrasi *Cr-Ni Steels*. Model ini digunakan untuk sampel material dengan bahan baja sebagai unsur minimum dan krom-nikel sebagai logam paduan utamanya. Dari hasil pengujian logam 304 diperoleh komposisi logam yaitu mengandung unsur Si 0.588%, Cr 19.378%, Ni 6.973% , C 0.177%, Mn 1.554% dan Mo 0.098%. Hasil ini menunjukkan bahwa sampel sesuai dengan

spesifikasi yang dibutuhkan. Namun ada beberapa unsur minor yang tidak sesuai dengan spesifikasi, yaitu unsur P dan S. (Lihat Tabel 4.).

Hasil pengujian logam SS 310 diperoleh komposisi logam yaitu mengandung unsur Si 1.23%, Cr 29.38%, Ni 15.48% , C 0.78%, Mn 1.44% dan Mo 0.176%. Hasil pengujian logam *Low Alloy* diperoleh komposisi logam yaitu mengandung unsur Si 2.71%, Cr 1,11%, Ni 0.27 % , C 1.52%, Mn 0.54% dan Mo 0.32%, hasil ini menunjukkan bahwa sampel sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Namun ada beberapa unsur minor yang tidak sesuai dengan spesifikasi, yaitu unsur P dan S. (Lihat Tabel 4.). Logam SS 310 mempunyai kandungan nikel yang lebih besar dari SS 304 sehingga SS 310 memiliki nilai keuletan yang tinggi daripada SS 304 dan *Low Alloy* adalah baja paduan yang memiliki kekuatan ulet yang paling rendah dari kedua logam tersebut. Ketika dilakukan pengujian menggunakan mesin uji tarik. Hasil dari pengujian menggunakan *OES* adalah setiap logam uji menghasilkan komposisi kimia berupa carbon yang hanya bisa dideteksi menggunakan *OES*.

Kedua material tersebut merupakan baja *Stainless Steel*. Baja ini merupakan baja paduan tahan karat dengan kadar paduan tinggi dan memiliki sifat tahan terhadap korosi dan temperatur tinggi. Sifat tahan korosi diperoleh dari lapisan oksida (terutama krom) yang sangat stabil melekat pada permukaan dan melindungi baja dari lingkungan korosif. Selain krom, lapisan oksida nikel juga digunakan sebagai pelindung permukaan baja. didapatkan nilai peak dan presentase.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan karakterisasi yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini.

1. Pengujian logam menggunakan *Tensile Test Machine* pada masing-masing logam uji didapatkan hasil pengujian logam SS 304 menghasilkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 342.20 kg/cm², logam SS 310 menghasilkan kekuatan tarik sebesar 260.60 kg/cm² dan *Low Alloy* menghasilkan kekuatan tarik sebesar 201.90 kg/cm².
2. Nilai *Strain* pada logam uji tipe *Stainless Steel* dan *Alloy Steel* didapatkan hasil dari logam SS 310 dengan besarnya 12 dengan nilai *Stress* 2.623×10^4 N/m², logam SS 304 nilai *Strainnya* sebesar 11 dengan nilai *Stress* 3.355×10^4 N/m² dan *Low Alloy* nilai *Strainnya* sebesar 6 dengan nilai *Stress* 1.979×10^4 N/ m².
3. Keunikan dalam pengujian tarik logam tipe *Stainless Steel* dan *Alloy Steel* menghasilkan pola patahan atau deformasi masing masing yang berbeda. Pola patahan logam untuk SS 304 berupa patahan getas, logam SS 310 berupa patahan ulet sementara *Low Alloy* berupa patahan getas..
4. Komposisi kimia dari logam tipe *Stainless Steel* dan *Alloy Steel* didapatkan dari pengujian menggunakan Niton XL2 GOLDD(instrument bekerja sesuai prinsip *XRF*) adalah logam SS 304 ini memiliki Cr 17.96033 %, Si

2.05% , Mn 1.31733% dan Ni 7.703%. Logam SS 310 kandungan Ni 19.3255%, Cr 23.896%, Mo 0.1125%, Mn 1.5115% dan Si 1.0665%. Logam *Low Alloy* kandungan Ni 0.09%, Cr 0.9%, Mo 0.459%, Mn 0.466333% dan Si 0.088333%. dan Arc Met 8000(instrument yang bekerja sesuai prinsip *OES*) didapatkan hasil pengujian logam 304 diperoleh komposisi logam yaitu Si 0.588%, Cr 19.378%, Ni 6.973% , C 0.177%, Mn 1.554% dan Mo 0.098%. logam SS 310 diperoleh komposisi logam yaitu Si 1.23%, Cr 29.38%, Ni 15.48% , C 0.78%, Mn 1.44% dan Mo 0.176%. Logam *Low Alloy* diperoleh komposisi logam yaitu Si 2.71%, Cr 1,11%, Ni 0.27 % , C 1.52%, Mn 0.54% dan Mo 0.32%.

B. Saran

Perlu ketelitian yang tinggi pada saat preparasi logam uji supaya logam terbebas dari cacat fisik selama proses preparasi dan pengujian menggunakan alat uji yang telah ditentukan sebelumnya dan perisapn alat uji yang telah terkalibrasi dan berjalan normal.

DAFTAR PUSTAKA

- Arhando J, Pramdia. 2017. *Indonesia Masuk 10 Besar Negara Industri Manufaktur Besar*. Diakses dari ekonomi.kompas.com pada tanggal 10 September 2017.
- A.N.Stroh.1967.*Fracture of Structural Materials*.New York
- Brady, G.S. dan H.R.Clauser. 1989.*Material Handbook*.12thed.New York:McGraw-Hill.
- Bogaerts and Annemie, R.G. *Argon and Cooper Optical Emission Spectra in a Qrinum Glow Discharge Source: Matematichal Simulations and Comparison with Experiment*. Journal of Analytical Atomic Spectrometry Vol.13
- Boyer, Howard E and Galf Timothy L. 1995. *Metal Hand Book Desk Edition*. American Society for Metal.
- C.Zener.Mekanisme.1948.*Mikro suatu retakan, pada "Retakan Logam"*,*American Society for Metals*. Ohio: Metal Park
- Tiara Bondan.2010.*Pengantar Material Teknik*.Jakarta:Penerbit Salemba Teknika.
- Djaprie,S.1991.*Ilmu dan Teknologi Bahan*. Edisi terjemahan.Jakarta:Penerbit Erlangga.
- Djaprie,S.1993.*Metalurgi Mekanik*. Edisi terjemahan.Jakarta:Penerbit Erlangga.
- E.smith.1966.*Proc.Conf.on Physical Basic of Yield and Fracture*.London:Inst.of Physics.
- Investor Dailly. 2012. *Indonesia Harus jadi Negara Industri*. Diakses dari www.kemenperin.go.id pada tanggal 10 September 2017.
- Solovyov, Leonid. 2009. *X-Ray Flourescence Spectrometry*. PANalytical B. V.
- Twyman, T.M. 2005. *Atomic Emission Spectrometry-Principles and Instrumentation*. Elsevier. All Rights Resesrved
- Viklund, A. 2008. *Teknik Pemeriksaan Material Menggunakan XRF, XRD dan SEM-EDS*.
- William D.Callister, Jr. and David G.Rethwiseh. 2009. *Materials Science and Engineering Eight Edition*. American.

LAMPIRAN

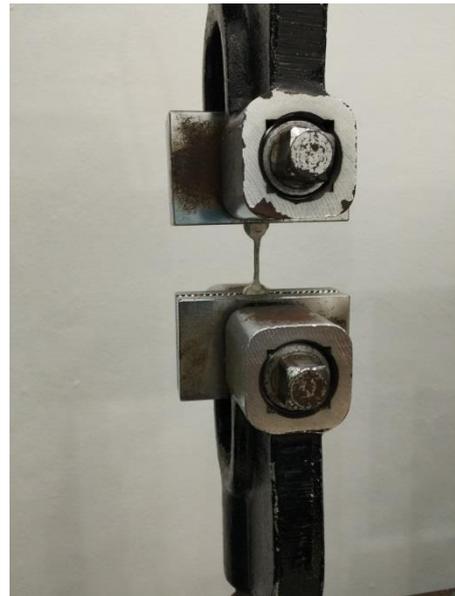
DAFTAR LAMPIRAN

A. Logam Uji Tipe SS 304 SS 310 dan Low Alloy

1. Logam Sebelum Pengujian



2. Logam Saat Pengujian



3. Logam Sesudah Pengujian

SS 310



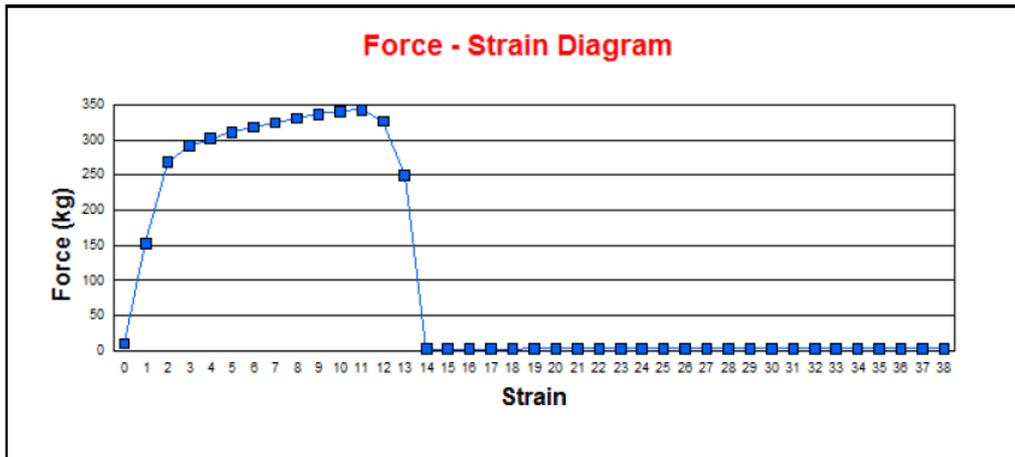
SS 304



Low Alloy

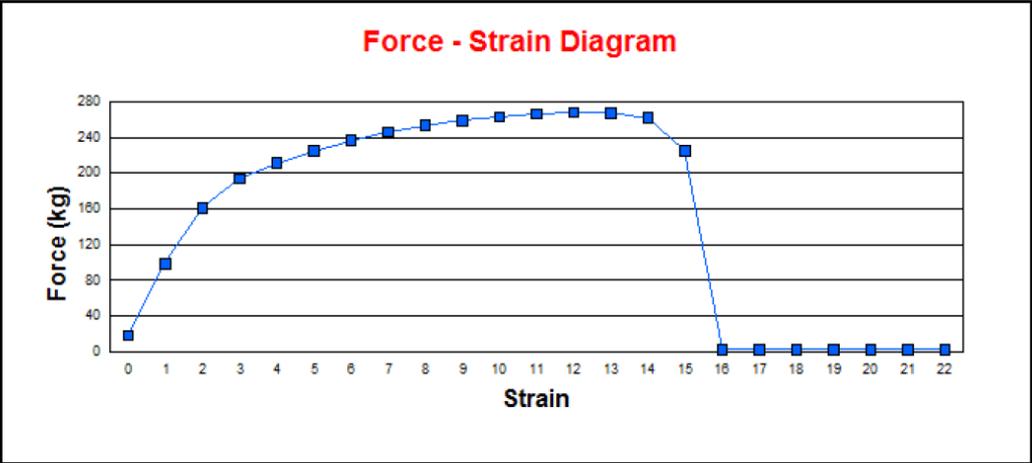


B. Hasil Uji Tarik Logam SS 304, SS 310 dan Low Alloy



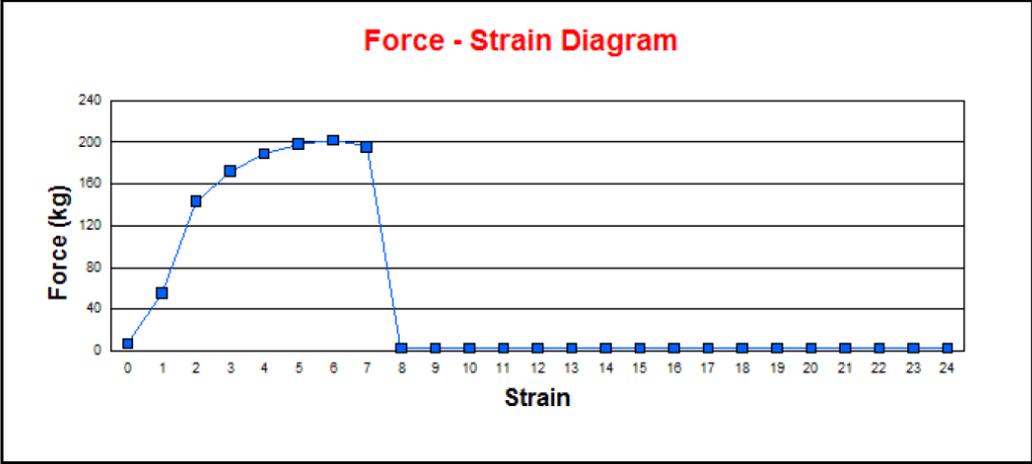
Hasil Tensile Test SS 304

<i>Strain</i>	<i>Force(kg)</i>
0	0
1	150
2	260
3	280
4	290
5	300
6	310
7	320.8
8	330
9	340
10	342
11	342.2
12	329.8
13	250
14	0
15	0



Hasil Tensile Test SS 310

<i>Strain</i>	<i>Force(kg)</i>
0	0
1	100
2	160
3	190
4	200
5	210
6	220
7	230
8	240
9	250
10	255
11	260
12	260.6
13	260.4
14	260
15	210.6
16	0
17	0

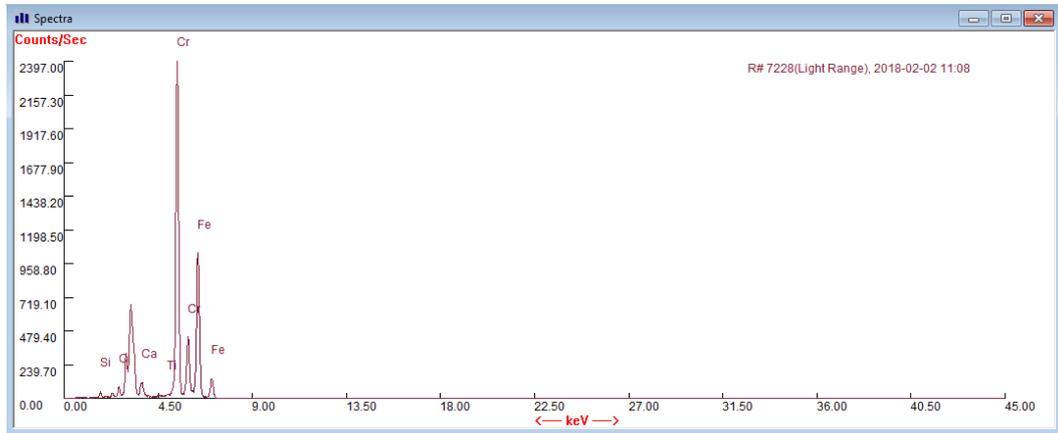


Hasil Tensile Test Low Alloy

<i>Strain</i>	<i>Force(kg)</i>
0	0
1	50
2	140
3	170
4	180
5	190
6	201.9
7	190
8	0
9	0

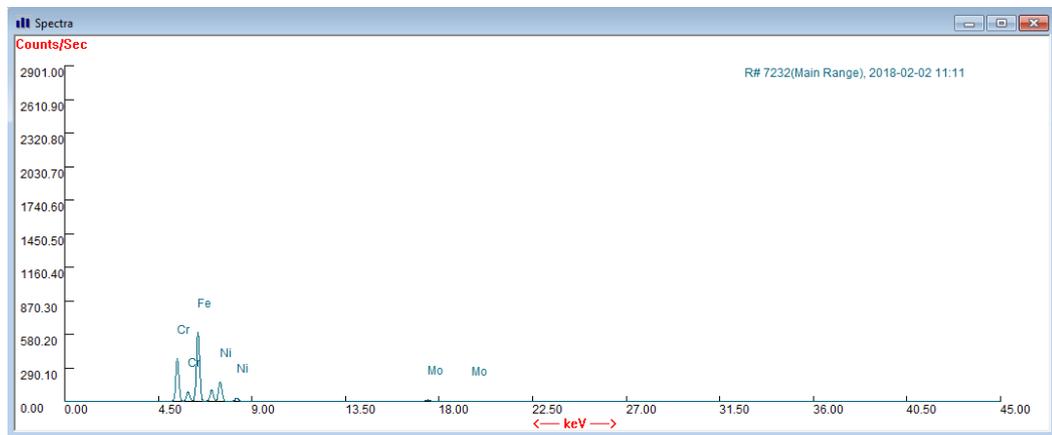
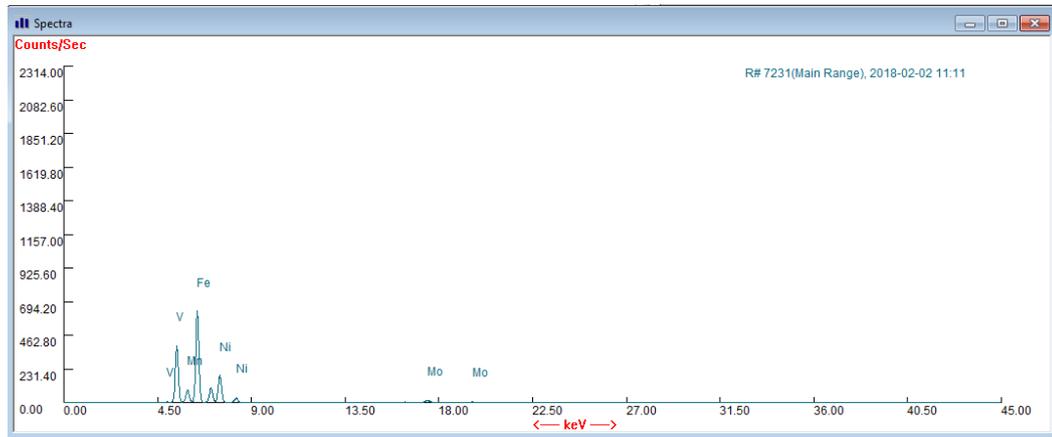
C. Hasil Karakterisasi XRF(XRy Fluorensence)

1. Spektrum dan Data Komposisi Kimia SS 304



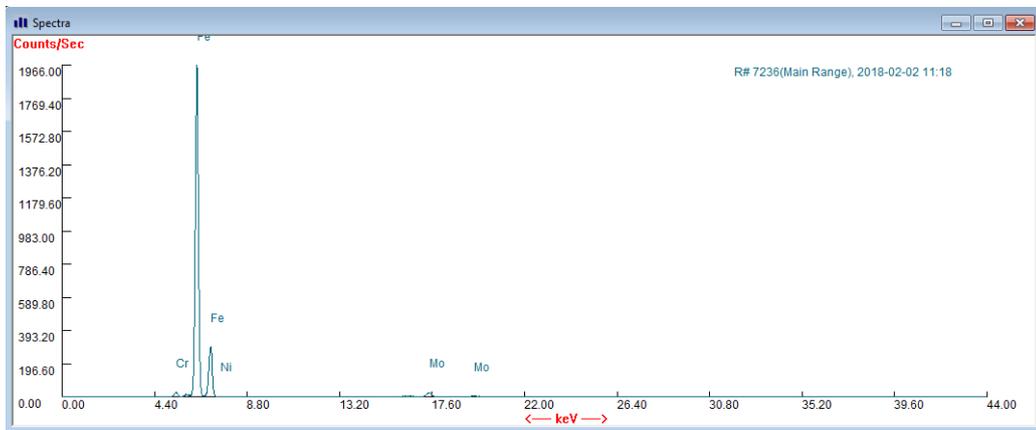
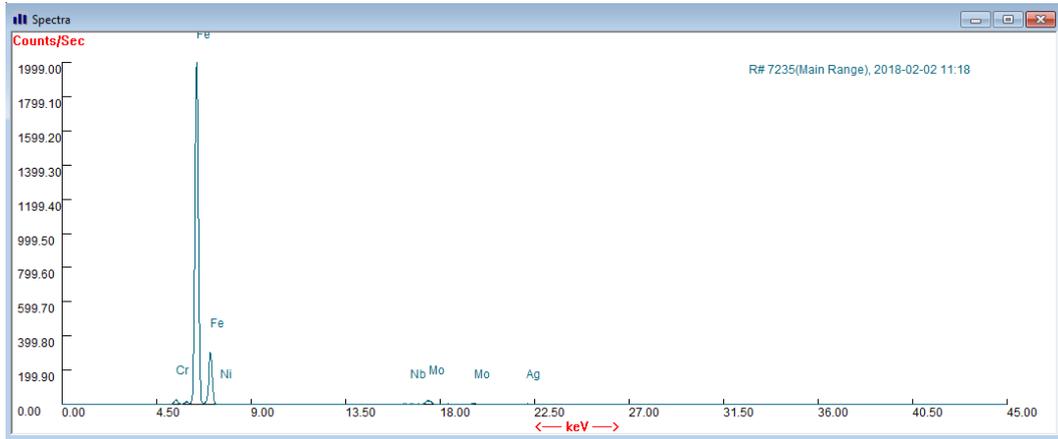
Logam SS 304										
ke	Peak									
	Ni	Fe	Mn	Cr	V	S	Si	P	Co	Mo
1	58.22	841.44	65.07	306.16	2.74	0.34	0.34	1.03	143.14	11.64
2	60.88	780.07	72.43	304.62	2.99	1	1	0.66	129.24	9.97
3	61.68	826.8	70.79	298.29	2.06	0.66	0.66	0.66	135.4	9.97
Rata-rata	60.26	816.1033	69.43	303.0233	2.596667	0.666667	0.666667	0.783333	135.9267	10.52667
Presentase Kandungan Unsur Penyusun Logam										
1	7.587	70.124	1.329	17.939	0.069	0.189	2.195	0.134	0.379	0.072
2	7.866	70.241	1.382	17.986	0.125	0.162	1.646	0.075	0.454	0.044
3	7.656	69.963	1.241	17.956	0.111	0.131	2.327	0.049	0.389	0.072
Rata-rata	7.703	70.10933	1.317333	17.96033	0.101667	0.160667	2.056	0.086	0.407333	0.062667

2. Spektrum dan Data Komposisi Kimia SS 310



Logam SS 310							
ke	Peak						
	Mo	Ni	Fe	Mn	Cr	V	Si
1	11.3	184.59	599.32	80.48	366.78	4.11	1.03
2	13.65	170.31	584.64	85.67	353.58	2.73	0.68
Rata-rata	12.475	177.45	591.98	83.075	360.18	3.42	0.855
Presentase Kandungan Unsur Penyusun Logam							
1	0.115	19.525	53.686	1.474	23.92	0.181	1.097
2	0.11	19.126	53.719	1.549	23.872	0.144	1.036
Rata-rata	0.1125	19.3255	53.7025	1.5115	23.896	0.1625	1.0665

3. Spektrum dan Data Komposisi Kimia Low Alloy



Low Alloy						
ke	Peak					
	Mo	Ni	Fe	Mn	Cr	
1	22.93	16.24	1942.04	13.38	22.61	
2	23.45	40.27	1912.39	13.72	24.34	
3	21.31	21.31	1418.03	11.48	24.59	
Rata-rata	22.56333	25.94	1757.487	12.86	23.84667	
Presentase Kandungan Unsur Penyusun Logam						
1	0.407	0.08	95.557	0.47	0.922	
2	0.457	0.098	98.148	0.544	0.934	
3	0.513	0.087	97.939	0.385	0.981	
Rata-rata	0.459	0.088333	97.21467	0.466333	0.945667	

4. Tampilan Aplikasi Niton XL2 GOLDD

The screenshot displays the Thermo Scientific NDT- DATA XRF 2018-02-02 application window. The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Tools, Utilities, Window, Help) and a toolbar with icons for Open, Save, Print, Preview, User Method, Export, Download, Energy, Auto Scale, Grid, Pen Color, Spectral, Fit, Zoom In, Zoom Out, and Upload. The main window shows a data table with the following columns: Index, Reading, Time, Type, Duration, Units, Sigma Value, Sequence, Alloy1, Alloy2, Flags, SAMPLE, HEAT, and LOT. The table contains 14 rows of data, each representing a different XRF reading.

Index	Reading	Time	Type	Duration	Units	Sigma Value	Sequence	Alloy1	Alloy2	Flags	SAMPLE	HEAT	LOT
1	7228	2018-02-02 11:08	General Metals	10.00	%	2	Final	SS-303 : *2.69	No Match : *3.30		SS304		
2	7229	2018-02-02 11:08	General Metals	10.00	%	2	Final	SS-303 : 1.59	SS-304 : 2.02		SS304		
3	7230	2018-02-02 11:10	General Metals	10.00	%	2	Final	SS-303 : *3.01	SS-304 : *3.41		SS304		
4	7231	2018-02-02 11:11	General Metals	10.00	%	2	Final	SS-310 : 1.10	No Match : *2.68		SS310		
5	7232	2018-02-02 11:11	General Metals	10.00	%	2	Final	SS-310 : 1.26	No Match : *3.19		SS310		
6	7233	2018-02-02 11:17	General Metals	10.00	%	2	Final	SS-304 : *2.71	No Match : *3.39		SS304		
7	7234	2018-02-02 11:17	General Metals	1.04	%	2	Final	SS-304 : 0.43	SS-303 : 0.75		SS304		
8	7235	2018-02-02 11:18	General Metals	10.00	%	2	Final	1.25Cr(P11) : *	No Match : *4.41		low alloy		
9	7236	2018-02-02 11:18	General Metals	5.01	%	2	Final	1.25Cr(P11) : 0...	No Match : *2.43		low alloy		
10	7237	2018-02-02 11:19	General Metals	0.69	%	2	Final	1.25Cr(P11) : 0...	No Match : *2.08		low alloy		
11	7238	2018-02-02 11:19	General Metals	3.49	%	2	Final	1.25Cr(P11) : 0...	No Match : *2.59		low alloy		
12	7239	2018-02-02 11:20	General Metals	10.00	%	2	Final	17-4 PH : 1.15	No Match : *2.24		17-4PH		
13	7240	2018-02-02 11:20	General Metals	4.48	%	2	Final	17-4 PH : 1.42	No Match : *1.66		17-4PH		
14	7241	2018-02-02 11:21	General Metals	6.03	%	2	Final	17-4 PH : 1.21	No Match : *1.73		17-4PH		

D. Hasil Karakterisasi OES(Optical Emission Spectroscopy)

Data hasil uji OES pada SS304

Measurement name : SS304					
Element	Last Result	SS304 .3	SS304 .2	SS304 .1	SS304 .0
Fe	70.46	71.18	71.07	70.53	68.74
C	0.050	0.109	0.095	0.102	(0.531)
Si	0.388	0.585	0.545	0.508	1.100
Mn	1.598	1.372	1.412	1.562	1.824
Cr	19.39	18.86	19.13	19.66	19.85
Ni	6.703	7.016	7.069	6.816	7.259
Mo	0.011	0.130	0.085	0.047	0.217
Cu	0.039	0.037	0.035	0.025	0.007
Ti	0.009	0.011	0.012	0.013	0.024
Nb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.014	0.025	0.029	0.026	0.046
V	0.082	0.075	0.073	0.068	0.062
W	0.182	0.013	0.025	0.064	0.046
Ca	0.525	0.223	0.268	0.342	0.194
S	(0.240)	(0.127)	(0.207)	(0.183)	(0.239)
P	0.334	0.261	(0.000)	0.096	(0.000)

Data hasil uji OES pada SS310

Measurement name : SS310					
Element	Last Result	SS310 .3	SS310 .2	SS310 .1	SS310 .0
Fe	54.33	53.69	52.67	57.25	77.80
C	0.089	0.192	(0.590)	(3.053)	(0.000)
Si	0.630	0.802	1.643	0.217	2.856
Mn	1.603	1.276	0.760	0.798	2.740
Cr	25.19	23.43	21.95	27.91	(48.43)
Ni	17.66	20.07	22.59	14.32	2.785
Mo	0.154	0.211	0.189	0.248	0.078
Cu	0.025	0.012	0.000	0.003	0.089
Ti	0.001	0.011	0.038	0.067	0.200
Nb	0.057	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)
Al	0.000	0.016	0.050	0.083	0.256
V	0.132	0.107	0.053	0.032	(0.000)
W	0.003	0.024	(0.000)	0.000	0.068
Ca	0.101	0.108	0.176	0.173	0.579
S	(0.116)	(0.085)	(0.135)	(0.141)	(0.223)
P	0.000	0.088	0.300	(0.000)	(0.897)

Data hasil uji OES pada Low Alloy

Measurement name : Low Alloy					
Element	Last Result	Low Alloy .3	Low Alloy .2	Low Alloy .1	Low Alloy .0
Fe	95.71	96.12	94.83	93.71	99.84
C	1.396	(1.750)	(1.785)	(2.671)	(0.000)
Si	1.676	1.703	2.175	(2.137)	(5.876)
Mn	0.576	0.588	0.577	0.518	0.446
Cr	1.107	1.010	1.142	0.875	1.438
Ni	0.263	0.288	0.221	0.207	0.377
Mo	0.322	0.323	0.300	0.387	0.276
Cu	0.222	0.251	0.334	0.256	1.026
Al	0.027	0.038	0.046	0.097	0.545
V	0.005	0.001	0.000	0.006	0.002
W	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
Ti	0.101	0.100	0.114	0.106	0.185
Nb	0.036	0.015	0.008	0.08	(0.000)
B	(0.047)	(0.064)	(0.065)	(0.111)	(0.000)
S	(0.000)	0.000	0.021	0.000	(0.000)
P	(0.000)	0.093	(0.000)	0.144	0.017

E. Instrumen-istrumen Alat Uji Logam

1. Alat uji mekanik(Tensile Test Machine)



2. Alat uji komposisi logam(XRF)



3. Alat uji komposisi logam(*OES*)



F. Standar ASTM untuk Tensile Test

UNS Designation	Type ^A	Tensile Strength, min		Yield Strength, ^B min		Elongation in 2 in. or 50 mm, min, %	Hardness, max ^C		Cold Bend ^D
		ksi	MPa	ksi	MPa		Brinell	Rockwell B	
Austenitic (Chromium-Nickel) (Chromium-Manganese-Nickel)									
N08020	...	80	550	35	240	30 ^H	217	95	not required
N08367	...	100	690	45	310	30	...	100	not required
Sheet and Strip	...	95	655	45	310	30	241	...	not required
Plate	...	75	520	30 ^D	205 ^D	30 ^H	...	...	not required
N08900	800 ^F	65	450	25 ^D	170 ^D	30	...	...	not required
N08810	800H ^F	65	450	25	170	30	...	...	not required
N08811	...	71	490	31	220	35	...	90	not required
N08804	804L ^F	94	650	43	295	35	...	...	not required
N08828	...	75	515	38	260	40	217	95	...
S20100	201-1 ^I	95	655	45	310	40	241	100	...
S20100	201-2 ^J	95	655	38	260	40	217	95	not required
S20103	201L ^F	95	655	45	310	45	241	100	not required
S20153	201LN ^F	125	860	50	345	40	255	25 ^L	not required
S20161	...	90	620	38	260	40	241	...	not required
S20200	202	95	655	48	330	35	241	100	not required
S20400	...	105	725	60	415	30	241	100	not required
S20910	XM-19 ^K	100	690	55	380	35	241	100	not required
Sheet and Strip	...	100	690	60	415	40	241	100	not required
Plate	...	90	620	50	345	40	241	100	not required
S21600	XM-17 ^J	100	690	60	415	40	241	100	not required
Sheet and Strip	...	90	620	50	345	40	241	100	not required
Plate	...	100	690	60	415	40	241	100	not required
S21603	XM-18 ^K	90	620	50	345	40	241	100	not required
Sheet and Strip	...	90	620	50	345	40	241	100	not required
Plate	...	95	655	50	345	35	241	100	not required
S21800	...	100	690	60	415	40	241	100	not required
S24000	XM-29 ^K	100	690	55	380	40	241	100	not required
Sheet and Strip	...	100	690	55	380	40	241	100	not required
Plate	...	75	515	30	205	40	217	95	not required
S30100	301	80	550	32	220	45	241	100	not required
S30103	301L ^F	80	550	35	240	45	241	100	not required
S30153	301LN ^F	75	515	30	205	40	201	92	not required
S30200	302	75	515	30	205	40	201	92	not required
S30400	304	75	515	30	205	40	201	92	not required
S30403	304L	70	485	25	170	40	201	92	not required
S30409	304H	75	515	30	205	40	201	92	not required
S30415	...	87	600	42	290	40	217	95	not required
S30451	304N	80	550	35	240	30	217	95	not required
S30452	XM-21 ^K	90	620	50	345	30	241	100	not required
Sheet and Strip	...	85	585	40	275	30	241	100	not required
Plate	...	...	...	...	...	...	...	...	...

A 240/A 240M - 04a¹

TABLE 2 Continued

UNS Designation	Type ^A	Tensile Strength, min		Yield Strength, ^B min		Elongation in 2 in. or 50 mm, min, %	Hardness, max ^C		Cold Bend ^D
		ksi	MPa	ksi	MPa		Brinell	Rockwell B	
S31008	310S	75	515	30	205	40	217	95	not required
S31009	310H ^F	75	515	30	205	40	217	95	not required
S31040	310Cb ^F	75	515	30	205	40	217	95	not required
S31041	310HCb ^F	75	515	30	205	40	217	95	not required
S31050	310 MoLN ^F	...	...	...	...	...	...	...	...
	t ≤ 0.25 in.	84	580	39	270	25	217	95	not required
	t > 0.25 in.	78	540	37	255	25	217	95	not required
S31060	...	87	600	41	280	40	217	95	not required
S31254	...	100	690	45	310	35	223	96	not required
Sheet and Strip	...	95	655	45	310	35	223	96	not required
Plate	...	109	750	61	420	35	...	...	not required
S31266	...	112	770	52	360	40	...	...	not required
S31277	...	75	515	30	205	40	217	95	not required
S31600	316	70	485	25	170	40	217	95	not required
S31603	316L	75	515	30	205	40	217	95	not required
S31609	316H	75	515	30	205	40	217	95	not required
S31635	316TF ^F	75	515	30	205	40	217	95	not required
S31640	316Cb ^F	75	515	30	205	30	217	95	not required
S31651	316N	80	550	35	240	35	217	95	not required
S31653	316LN	75	515	30	205	40	217	95	not required
S31700	317	75	515	30	205	35	217	95	not required
S31703	317L	75	515	30	205	40	217	95	not required
S31725	317LM ^F	75	515	30	205	40	217	95	not required
S31726	317LMN ^F	80	550	35	240	40	223	96	not required
S31727	...	80	550	36	245	35	217	96	not required

G.Standard ASTM untuk Kandungan dan Presentase Logam

TABLE 1 Chemical Composition Requirements, %⁴

UNS Designation ^a	Type ^b	Carbon ^c	Manganese	Phosphorus	Sulfur	Silicon	Chromium	Nickel	Molybdenum	Nitrogen	Copper	Other Elements ^{d,f}
N08220	...	0.07	2.00	0.045	0.035	1.00	19.0-21.0	32.0-36.0	2.00-3.00	...	3.0-4.0	Cb 8x C min, 1.00 max
N08367	...	0.030	2.00	0.040	0.030	1.00	20.0-22.0	23.5-25.5	6.0-7.0	0.18-0.25	0.75	...
N08800	800 ^g	0.10	1.50	0.045	0.015	1.00	19.0-23.0	30.0-35.0	...	...	0.75	Fe ^h 39.5 min Al 0.15-0.60 Ti 0.15-0.60
N08810	800H ^g	0.05-0.10	1.50	0.045	0.015	1.00	19.0-23.0	30.0-35.0	...	...	0.75	Fe ^h 39.5 min Al 0.15-0.60 Ti 0.15-0.60
N08811	...	0.06-0.10	1.50	0.040	0.015	1.00	19.0-23.0	30.0-35.0	...	...	0.75	Fe ^h 39.5 min Al 0.15-0.60 Ti 0.15-0.60 V 0.15-0.60
N08904	904L ^g	0.020	2.00	0.045	0.035	1.00	19.0-23.0	23.0-28.0	4.0-5.0	0.10	1.0-2.0	...
N08926	...	0.020	2.00	0.030	0.010	0.50	19.0-21.0	24.0-26.0	6.0-7.0	0.15-0.25	0.5-1.5	...
S20100	201	0.15	5.5-7.5	0.060	0.030	1.00	16.0-18.0	3.5-5.5	...	0.25	...	...
S20103	...	0.03	5.5-7.5	0.045	0.030	0.75	16.0-18.0	3.5-5.5	...	0.25	...	...
S20153	...	0.03	6.4-7.5	0.045	0.015	0.75	16.0-17.5	4.0-5.0	...	0.10-0.25	1.00	...
S20161	...	0.15	4.0-6.0	0.040	0.040	3.0-4.0	15.0-18.0	4.0-6.0	...	0.08-0.20	...	...
S20200	202	0.15	7.5-10.0	0.060	0.030	1.00	17.0-19.0	4.0-6.0	...	0.25	...	...
S20400	...	0.030	7.0-9.0	0.040	0.030	1.00	15.0-17.0	1.50-3.00	...	0.15-0.30	...	...
S20910	XM-19 ^j	0.06	4.0-6.0	0.040	0.030	0.75	20.5-23.5	11.5-13.5	1.50-3.00	0.20-0.40	...	Cb 0.10-0.30 V 0.10-0.30
S21400	XM-31 ^j	0.12	14.0-16.0	0.045	0.030	0.30-1.00	17.0-18.5	1.00	...	0.35 min	...	...
S21600	XM-17 ^j	0.08	7.5-9.0	0.045	0.030	0.75	17.5-22.0	5.0-7.0	2.00-3.00	0.25-0.50	...	...
S21603	XM-18 ^j	0.03	7.5-9.0	0.045	0.030	0.75	17.5-22.0	5.0-7.0	2.00-3.00	0.25-0.50	...	...
S21800	...	0.10	7.0-9.0	0.060	0.030	3.5-4.5	16.0-18.0	8.0-9.0	...	0.08-0.18	...	...
S24000	XM-29 ^j	0.08	11.5-14.5	0.060	0.030	0.75	17.0-19.0	2.3-3.7	...	0.20-0.40	...	...
S30100	301	0.15	2.00	0.045	0.030	1.00	16.0-18.0	6.0-8.0	...	0.10	...	...
S30103	301L ^g	0.03	2.00	0.045	0.030	1.00	16.0-18.0	6.0-8.0	...	0.20	...	...
S30153	301LN ^g	0.03	2.00	0.045	0.030	1.00	16.0-18.0	6.0-8.0	...	0.07-0.20	...	...
S30200	302	0.15	2.00	0.045	0.030	0.75	17.0-19.0	8.0-10.0	...	0.10	...	...
S30400	304	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0-20.0	8.0-10.5	...	0.10	...	...
S30403	304L	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0-20.0	8.0-12.0	...	0.10	...	...
S30409	304H	0.04-0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0-20.0	8.0-10.5	...	...	...	...
S30415	...	0.04-0.06	0.80	0.045	0.030	1.00-2.00	18.0-19.0	9.0-10.0	...	0.12-0.18	...	Ce 0.03-0.08
S30451	304N	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0-20.0	8.0-10.5	...	0.10-0.16	...	...
S30452	XM-21 ^j	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0-20.0	8.0-10.5	...	0.16-0.30	...	...
S30453	304LN	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0-20.0	8.0-12.0	...	0.10-0.16	...	...
S30600	306	0.12	2.00	0.045	0.030	0.75	17.0-19.0	10.5-13.0	...	...	...	...
S30600	...	0.018	2.00	0.020	0.020	3.7-4.3	17.0-18.5	14.0-15.5	0.20	...	0.50	...
S30601	...	0.015	0.50-0.80	0.030	0.013	5.0-5.6	17.0-18.0	17.0-18.0	0.20	0.05	0.35	...
S30615	...	0.16-0.24	2.00	0.030	0.030	3.2-4.0	17.0-19.5	13.5-16.0	...	...	...	Al 0.80-1.50
S30815	...	0.05-0.10	0.80	0.040	0.030	1.40-2.00	20.0-22.0	10.0-12.0	...	0.14-0.20	...	Ce 0.03-0.08
S30908	309G	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	22.0-24.0	12.0-15.0	...	...	...	...
S30909	309H ^g	0.04-0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	22.0-24.0	12.0-15.0	...	...	...	...
S30940	309Cb ^g	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	22.0-24.0	12.0-16.0	...	...	...	Cb 10x C min, 1.10 max
S30941	309HCb ^g	0.04-0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	22.0-24.0	12.0-16.0	...	...	...	Cb 10x C min, 1.10 max
S31008	310G	0.08	2.00	0.045	0.030	1.50	24.0-26.0	19.0-22.0	...	...	...	...
S31009	310H ^g	0.04-0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	24.0-26.0	19.0-22.0	...	...	...	...
S31040	310Cb ^g	0.08	2.00	0.045	0.030	1.50	24.0-26.0	19.0-22.0	...	...	...	Cb 10x C min, 1.10 max

A 240/A 240M - 04a¹

