

**IDENTIFIKASI KANDUNGAN UNSUR LOGAM
MENGUNAKAN XRF DAN OES
SEBAGAI PENENTU TINGKAT KEKERASAN BAJA PADUAN**

SKRIPSI

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



Oleh:

Saedatul Fatimah

NIM. 14306141029

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

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul:

**IDENTIFIKASI KANDUNGAN UNSUR LOGAM MENGGUNAKAN XRF
DAN OES SEBAGAI PENENTU TINGKAT KEKERASAN BAJA
PADUAN**

Disusun oleh:

Saedatul Fatimah

NIM 14306141029

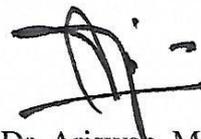
telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen pembimbing untuk dilaksanakan

Ujian Akhir Tugas Skripsi bagi

yang bersangkutan

Yogyakarta, 15 Maret 2018

Disetujui,
Dosen Pembimbing,



Dr. Ariswah, M. Si
NIP 19590914 198803 1 003

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Saedatul Fatimah

NIM : 14306141029

Prodi : Fisika

Judul : Identifikasi Kandungan Unsur Logam Menggunakan XRF dan
OES Sebagai Penentu Tingkat Kekerasan Baja Paduan

menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu yang diambil sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila terbukti pernyataan saya ini tidak benar, maka sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 19 April 2018

Yang menyatakan



Saedatul Fatimah

NIM 14306141029

HALAMAN PENGESAHAN

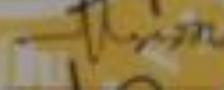
Tugas Akhir Skripsi dengan Judul
**IDENTIFIKASI KANDUNGAN UNSUR LOGAM
MENGUNAKAN XRF DAN OES
SEBAGAI PENENTU TINGKAT KEKERASAN BAJA PADUAN**

Dissusun oleh:

Saodatul Fatimah
NIM 14306141029

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji Tugas Akhir Skripsi
Program Studi Fisika Universitas Negeri Yogyakarta
pada tanggal 03 Mei 2018

DEWAN PENGUJI

Nama/ Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Dr. Ariswan, M. Si Ketua Penguji		23/5/18
Dr. Eng. Rida Siti Nur'aini Mahmudah Sekretaris Penguji		23/5/18
Dr. Restu Widiatmono, M. Si Penguji Utama		22/5/2018

Yogyakarta, 24 Mei 2018
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Dekan




Dr. Hartono

NIP. 196203291987021002

MOTTO

“Bukankah Kami telah melapangkan dadamu (Muhammad)?. Dan Kami pun telah menurunkan bebanmu darimu. Yang memberatkan punggungmu. Dan Kami tinggikan sebutan (namamu) bagimu. Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain” (QS. Al-Insyirah:1-7)

“Demi masa. Sungguh manusia berada dalam kerugian. Kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan kebajikan serta saling menasihati untuk kebenaran dan saling menasihati untuk kesabaran” (QS. Al-‘Asyr)

“Be a Qowy Muslimah!” (Penulis)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Waktu adalah obat bagi segala rasa sakit, penderitaan, rasa lelah dan segala jenis perjuangan dalam hidup, Allah tidak pernah mengkhianati perjuangan hamba-Nya. Itulah segelintir ilmu yang bisa kuterima dari sosok sederhana yang bisa kupanggil bapak....Sutarno bapak terbaik selamanya.

Tidak perlu banyak bicara dalam menjalani hidup, Allah memberikan kita satu mulut agar kita bisa berhemat kata dan boros dalam bertindak. Petuah yang sudah mendarahdaging dari sosok pendiam, lembut, tegas, serta penyuplai utama curahan rasa kasih sayang yang tidak pernah putus bagi kami anak-anaknya. Untuk mamah.....Munfarida ibu yang tiada duanya.

*Untuk Kakak-kakakku, Mas Afif Lukman beserta istrinya
Mbak Dewi Puryanti beserta suaminya
Untuk adik-adikku, Lina Susanti dan Nurul Azizah.
Tiga malaikat kecil, keponakanku; Alwindy Adair Mahardika, Yasmin Assyifa
Zahra, dan Siti Azzahra Ramadhania (Almh),*

Jazakumullah Khairan Katsiiran



**IDENTIFIKASI KANDUNGAN UNSUR LOGAM
MENGUNAKAN XRF DAN OES
SEBAGAI PENENTU TINGKAT KEKERASAN BAJA PADUAN**

Oleh:

Saedatul Fatimah
NIM 14306141029

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kandungan unsur logam menggunakan XRF dan OES sebagai penentu tingkat kekerasan pada baja paduan yang terdiri dari logam SS304, SS310, Low Alloy, dan 17-4PH produksi PT Petrokimia Gresik, Jawa Timur.

Teknik yang dilakukan untuk mengetahui variasi unsur dan persentase bahan mineral dalam baja adalah dengan menggunakan karakterisasi *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *Optical Emission Spectroscopy* (OES). Proses karakterisasi sampel baja dilakukan sebanyak 3 kali untuk XRF dan 5 kali untuk OES. Sampel yang berbentuk lempengan tersebut kemudian diuji menggunakan metode pengujian *Rockwell* untuk mengetahui tingkat kekerasan baja sampel. Perlakuan untuk sampel sebelum dilakukan pengujian keseluruhan adalah dengan menghaluskan permukaan bahan serta mengatur jarak pengujian sejauh 0.5 cm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jenis baja sampel menyebabkan perbedaan pada tingkat kekerasan baja. Hasil pengujian menggunakan *Rockwell* yang kemudian dikonversikan kedalam satuan *Brinell* memperlihatkan bahwa urutan baja dari empat sampel yang memiliki tingkat kekerasan paling tinggi 17-4PH = (372 ± 7) satuan *Brinell*, SS304 = (159 ± 4) satuan *Brinell*, Low Alloy = (141 ± 3) satuan *Brinell*, dan SS310 = (123 ± 3) satuan *Brinell*. Hasil karakterisasi XRD dan OES dapat diketahui bahwa unsur-unsur yang paling berpengaruh pada urutan tingkat kekerasan adalah unsur karbon (C) dan vanadium (V). Semakin besar persentase kandungan unsur karbon dan vanadium, maka semakin besar pula tingkat kekerasannya. Pada logam 17-4PH yang memiliki tingkat kekerasan paling tinggi mengandung unsur karbon dan vanadium paling besar diantara keempat sampel yakni 0,206% dan 0,102%. Pada logam yang memiliki tingkat kekerasan paling rendah yakni SS310 mengandung unsur karbon dan vanadium yang paling rendah sebesar 0,141% dan 0,064%.

Kata kunci: kekerasan baja, baja paduan, XRF dan OES

**THE IDENTIFICATION OF METAL SUBSTANCE
USING XRF AND OES
TO DETERMINE THE HARDNESS OF A ALLOY STEEL**

By:

Saedatul Fatimah
NIM. 14306141029

ABSTRACT

This research aimed to identify substance concentration of mixture steel using XRF and OES in order to define the mixture steel hardness of SS304, SS310, Low Alloy, and 17-4PH produced by PT Petrokimia Gresik, East Java.

X-Ray Fluorescence (XRF) and Optical Emission Spectroscopy (OES) technique were used to determine the substance and its percentage of steel. The sample characterization of the steel were done three times for the XRF and five times for the OES. Sample was then tested using Rockwell method to determine the hardness of the steel. Every sample were polished on its surface before being tested and the distance was set at 0.5 cm.

The result showed that hardness were different for different mixture steel substance concentration. The Rockwell method is result were then the converted to Brinell unit, and shown from the hardest to the lowest as follows: 17-4PH = (327 ± 7) , SS304 = (159 ± 4) , Low Alloy = (141 ± 3) , and SS310 = (123 ± 3) . The characterization result using XRD and OES showed that the substances which have contribution to the hardness value of the steel at normal temperature were karbon (C) and vanadium (V). The bigger Carbon and Vanadium concentration in the steel, the hardness level will be higher. The 17-4PH steel which has the highest level of hardness contain the biggest amount of Carbon and Vanadium among four samples, which are 0,206% and 0,102% respectively. On the other hand the lowest hardness, SS310 contains the smallest amount of Carbon and Vanadium, which are 0,141% and 0,064% respectively.

Keywords: hardness steel, alloy steel, XRF, and OES

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Identifikasi Kandungan Unsur Logam Menggunakan XRF dan OES Sebagai Penentu Tingkat Kekerasan Baja Paduan”. Pada penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Hartono selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan studi,
2. Bapak Drs. Yusman Wiyatmo, M. Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah memberikan kelancaran dalam pelayanan akademik,
3. Drs. Nur Kadarisman, M. Si selaku Ketua Program Studi Fisika yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penulisan skripsi,
4. Dr. Ariswan, M. Si selaku dosen pembimbing yang telah sabar dalam membimbing, mengarahkan, dan memberikan motivasi selama penyusunan skripsi,
5. Bapak Bambang Ruwanto, M. Si sebagai Penasihat Akademik dan penguji pendamping yang telah memberikan bimbingan, pengarahan selama studi, dan koreksi skripsi,
6. Seluruh dosen jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat selama kuliah,

7. Orang-orang hebat dan sabar yang berada dibalik pengambilan data serta penyusunan skripsi ini: Eka Maulana BLP dan Riski Hidayat SP, rekan bimbingan seperjuangan. Serta yang selalu pengoreksi naskah: M. Saputra,
8. Untuk Mbak-mbak, Teman-teman, dan Adik-adik di Kost Binaan tercinta Rimsha-Shofiyyah Boarding House,
9. Sahabat-sahabat yang dari kejauhan sana selalu mendoakan; Risma, Shita, Riska, Desi, Daniar, dan Lu'lu Qurrotul, semoga selalu dikaruniai kesehatan,
11. Teman-teman Fisika B 2014 untuk kebersamaan selama 4 tahun,
12. Teman-teman Pengurus Haska-JMF 2015, Inspirator MIPA 2015, Dewan Perwakilan Mahasiswa (DPM FMIPA UNY 2016), Fomuny 2016, Tutorial PAI UNY 2017, Tutorial PAI UNY 2018, dan Teman-teman KKN 02 Purbonegaran 2017,
13. Semua pihak yang telah membantu dan memberi dukungan.

Penyusunan skripsi ini masih mempunyai kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai suatu koreksi. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Yogyakarta, April 2018

Saedatul Fatimah

NIM. 14306141029

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah.....	6
D. Rumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian.....	7
F. Manfaat Penelitian.....	7
BAB II KAJIAN TEORI	9
A. Logam.....	9
B. Logam Baja	13
C. Baja Karbon.....	17
D. Jenis Baja Paduan.....	20
E. Pengaruh Unsur Campuran dalam Baja	22
F. Pengujian Logam.....	29
G. Uji Kekerasan (<i>Hardness Test</i>)	30
H. Uji Kekerasan Menggunakan <i>Rockwell</i>	33
I. <i>Optical Emission Spectroscopy</i> (OES).....	36

J. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	38
K. Kerangka Berpikir	46
BAB III METODE PENELITIAN	48
A. Jenis, Waktu dan Tempat Penelitian	48
B. Objek Penelitian	49
C. Variabel Penelitian	49
D. Bahan dan Alat Penelitian	50
E. Langkah Penelitian	51
F. Teknik Analisis Data	54
G. Skema Alat	56
H. Diagram Alir Penelitian	58
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	59
A. Data Hasil Penelitian	59
B. Pembahasan	79
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	98
A. KESIMPULAN	98
B. SARAN	100
DAFTAR PUSTAKA	101
LAMPIRAN	104

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Logam <i>Ferro</i> dan Pemakaiannya	17
Tabel 2.	Skala Kekerasan pada alat uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	35
Tabel 3.	Skala dan Pemakaian Metode <i>Rockwell</i>	35
Tabel 4.	Data Pengukuran Sampel dalam Uji Kekerasan	59
Tabel 5.	Penyetaraan Skala HRb dan HRc Menggunakan Satuan <i>Brinell</i>	60
Tabel 6.	Data Uji Komposisi Unsur Logam SS304 menggunakan XRF	63
Tabel 7.	Data Uji Komposisi Unsur Logam SS310 menggunakan XRF	65
Tabel 8.	Data Uji Komposisi Unsur Logam Low Alloy menggunakan XRF	66
Tabel 9.	Data Uji Komposisi Unsur Logam 17-4PH menggunakan XRF	68
Tabel 10.	Data Logam dan Komposisi Unsur Menggunakan Uji XRF.....	69
Tabel 11.	Data Uji Komposisi Unsur Logam SS304 Menggunakan OES	72
Tabel 12.	Data Uji Komposisi Unsur Logam SS310 Menggunakan OES	73
Tabel 13.	Data Uji Komposisi Unsur Logam Low Alloy Menggunakan OES	75
Tabel 14.	Data Uji Komposisi Unsur Logam 17-4PH Menggunakan OES	76
Tabel 15.	Data Uji Komposisi Unsur Logam SS310, SS304, Low Alloy, dan 17-4PH Menggunakan OES	77
Tabel 16.	Hasil Uji Komposisi Unsur dan Persentasenya Menggunakan XRF dan OES.....	85
Tabel 17.	Perbandingan Unsur Vanadium dan Karbon pada Baja Sampel	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. (1) Elektron Tereksitasi Keluar (2) Pengisian Kekosongan Elektron (3) Pelepasan Energi (4) Proses	41
Gambar 2. Terbentuknya K-alpha dan K-Beta	42
Gambar 3. Prinsip kerja alat <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	44
Gambar 4. Kandungan Unsur-Unsur pada Tingkat Energi Tertentu	45
Gambar 5. Skema alat uji kekerasan <i>Rockwell</i>	56
Gambar 6. Skema alat uji komposisi unsur <i>X-Ray Fluorescence</i>	56
Gambar 7. Skema alat uji komposisi unsur <i>Optical Emission Spectroscopy</i>	57
Gambar 8. Grafik Tingkat Kekerasan Logam pada Masing-masing Pengujian ..	61
Gambar 9. Grafik Nilai Kekerasan pada Logam SS304, SS310, Low Alloy, dan 17-4PH.....	62
Gambar 10. Grafik Hasil Uji Komposisi pada Logam SS304, SS310, Low Alloy, dan 17-4PH dengan Menggunakan XRF	70
Gambar 11. Grafik Hasil Uji Komposisi Pada Logam SS310, SS304, Low Alloy, dan 17-4PH Menggunakan OES	78
Gambar 12. Grafik Perbandingan Unsur Vanadium dan Karbon.....	96

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skala perbandingan pada alat uji <i>Rockwell</i> , <i>Brinell</i> , dan <i>Vickers</i> .	105
Lampiran 2. Data hasil uji <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) logam SS304 nilai <i>peak</i> , nama unsur, dan prosentasenya	108
Lampiran 3. Data hasil uji <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) logam SS310 nilai <i>peak</i> , nama unsur, dan prosentasenya	111
Lampiran 4. Data hasil uji <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) logam Low Alloy nilai <i>peak</i> , nama unsur, dan prosentasenya	113
Lampiran 5. Data hasil uji <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) logam 17-4PH nilai <i>peak</i> , nama unsur, dan prosentasenya	115
Lampiran 6. Data hasil uji <i>Optical Emission Spectroscopy</i> (OES) pada SS304..	120
Lampiran 7. Data hasil uji <i>Optical Emission Spectroscopy</i> (OES) pada SS310..	121
Lampiran 8. Data hasil uji <i>Optical Emission Spectroscopy</i> (OES) pada Low Alloy	122
Lampiran 9. Data hasil uji <i>Optical Emission Spectroscopy</i> (OES) pada 17-4PH	123
Lampiran 10. Nilai rata-rata hasil uji <i>Optical Emission Spectroscopy</i> (OES) pada keempat sampel logam	124
Lampiran 11. Prosedur menggunakan <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	125

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat akhir-akhir ini membawa manusia kepada peradaban yang baru, dimana manusia memenuhi kebutuhannya dengan didukung oleh peralatan-peralatan yang sudah modern. Beberapa industri menggunakan bahan berbasis logam terutama untuk alat-alat perkakas dan komponen-komponen otomotif. Baja karbon banyak digunakan pada komponen mesin seperti roda gigi, poros dan komponen lainnya yang memerlukan sifat kekerasan dan keuletan. Permasalahan yang sering timbul adalah aspek kelelahan yang disebabkan keausan karena terkena pengaruh gaya luar sehingga terjadi deformasi atau perubahan bentuk. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan bahan yang mempunyai sifat keras dan ulet. Bahan yang memenuhi sifat keras dan ulet salah satu diantaranya adalah baja karbon, yang kebanyakan di pasaran mempunyai sifat kelelahan yang terbatas. Kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa kehilangan fungsi pada suatu mesin disebabkan oleh kerusakan pada permukaan berupa keausan, retak maupun korosi (Nusyirwan, 2001: 1).

Semua partikel dan struktur logam akan terkena pengaruh gaya luar yang dapat menimbulkan tegangan (*stress*) sehingga menimbulkan deformasi atau perubahan bentuk. Pembuatan barang perkakas dan komponen otomotif pasti sudah didasarkan pada sifat-sifat yang khas dari bahan, baik

kekerasannya, keuletannya, kekokohnya, dsb. Pengetahuan yang mendalam dari sifat-sifat yang khas tersebut didasarkan pada hasil percobaan yang diselenggarakan pada berbagai keadaan beban, arah beban, serta dalam waktu pembebanan yang berbeda (Ilmu Bahan Teknik, 2010).

Morgan (1995: 591), menunjukkan fakta yang didasarkan pada data yang dikeluarkan oleh *The European Gas Pipeline Incident Group*, bahwa tingkat kegagalan sistem perpipaan yang terjadi di seluruh wilayah Eropa, adalah sebesar 0,575 per 1000 km per tahun. Data tersebut didapat berdasarkan pengalaman serta hasil pengujian yang dilakukan pada *onshore natural gas pipeline* dengan panjang lebih dari 1,47 km per tahun. Dari penelitian lain yang dilakukan oleh *Restrepo, et.al (2008)*, menunjukkan bahwa baja yang lunak merupakan penyebab nomor dua terbesar setelah korosi, yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada pipa diikuti dengan kecelakaan yang melibatkan cairan berbahaya di Amerika Serikat.

Pengujian kekerasan metode *Rockwell* merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam industri karena sangat sederhana dan tidak memerlukan keahlian khusus dalam melakukannya. Peralatan pengujian *Rockwell* sudah terotomasi sehingga tidak diperlukan pengukuran jejak pada logam yang diuji. Pengukuran jejak indentor merupakan skala kemampuan material untuk menggores material lain seperti pada pengujian kekerasan metode *Brinell* atau *Mohr*. Nilai kekerasan pada alat uji *Rockwell* langsung ditampilkan di mesin uji ketika penjejakan telah selesai dilakukan. Berbagai

macam skala kekerasan *Rockwell* tersedia, dengan mengkombinasikan betuk indenter (besar jejak) dan beban (Sofyan, 2010: 35). Metode *Rockwell* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (*speciment*) yang berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. kombinasi variasi indenter dan beban digunakan untuk bahan metal dan campuran mulai dari bahan lunak sampai keras (Nugraheni, 2014: 4).

Perbedaan tingkat kekerasan pada logam baja salah satunya dipengaruhi oleh jenis kandungan unsur yang terdapat dalam suatu material. Unsur paduan yang biasa ditambahkan selain karbon adalah titanium, krom (*chromium*), nikel, vanadium, kobalt dan tungsten (*wolfram*). Variasi komposisi unsur mengakibatkan beragamnya sifat yang dimiliki oleh suatu logam. Penambahan kandungan karbon dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan kekuatannya (Robbina, 2012: 13).

Sifat baja sangat tergantung pada unsur-unsur yang terkandung dalam baja. Baja karbon biasanya mempunyai kekurangan diantaranya kekerasan baja tidak merata, sifat mekanis yang rendah, kurang tahan terhadap tekanan, kekerasan, korosi dan lain sebagainya. Penambahan unsur campuran digunakan untuk memperbaiki sifat pada baja (Amanto & Daryanto, 2003: 114).

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis kandungan unsur dalam logam adalah metode *X-Ray Fluorescence* (XRF). XRF merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui kandungan unsur dan persentasenya dalam suatu material. Penggunaan metode *X-Ray Fluorescence* dalam penelitian ini berdasarkan pertimbangan bahwa teknik ini mempunyai batas deteksi hingga satuan ppm (*part per million*) (Fitri, 2016: 3). Metode XRF mempunyai beberapa keuntungan diantaranya biaya relatif murah, *multielemental* (dapat mendeteksi berbagai macam material), analisisnya cepat dan hasil analisisnya bersifat kualitatif dan kuantitatif. Disisi lain, penggunaan metode XRF juga memiliki kekurangan yakni tidak dapat mendeteksi unsur karbon dalam logam. Kandungan karbon (C) dalam baja sangat mempengaruhi sifat fisik pada baja, sehingga untuk melengkapi pengujian komposisi unsur dalam logam, digunakan pula alat uji *Optical Emission Spectroscopy* (OES) yang berfungsi untuk mendeteksi unsur-unsur lainnya yang belum terdeteksi oleh alat uji XRF (Masrukan dkk, 2007: 5).

Penambahan unsur tertentu akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada material tanpa terlalu menurunkan kekuatannya. Tingkat kekerasan paduan suatu material juga ditentukan oleh persentase unsur paduan yang ditambahkan. Besar persentase dan unsur paduan yang ditambahkan juga akan berpengaruh pada struktur mikro hasil coran, karakteristik logam paduan, serta dalam pengaruh ukuran butir (Setia I dkk, 2014: 2).

Baja SS304, SS310, Low Alloy, dan 17-4PH merupakan baja yang paling banyak diproduksi oleh PT Petrokimia Gresik Jawa Timur. Keempat spesimen tersebut merupakan sampel dari tiga jenis logam baja berdasarkan tingkatan korositasnya, yakni *stainless steel*, *alloy steel*, dan *superduplex steel*. Baja SS304, SS310, Low Alloy, dan 17-4PH merupakan baja yang paling banyak digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan perkakas untuk kehidupan sehari-hari.

Berdasarkan pemaparan latar belakang tersebut, penulis kemudian tertarik untuk meneliti perbandingan nilai kekerasan pada logam baja karbon SS304, SS310, Low Alloy dan 17-4PH dengan menggunakan metode *Rockwell* akibat dari adanya variasi kandungan unsur-unsur material pembentuk. Unsur-unsur pembentuknya tersebut diuji dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence (XRF)* dan *Optical Emission Spectroscopy (OES)*, sehingga penulis mengambil judul penelitian “Identifikasi Kandungan Unsur Logam Menggunakan XRF dan OES Sebagai Penentu Tingkat Kekerasan Baja Paduan”.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka dapat diidentifikasi permasalahan yang dapat dikaji dalam penelitian ini, yaitu:

1. Berapa nilai kekerasan pada baja SS304, SS310, Low Alloy dan 17-4PH.
2. Unsur apa saja yang mempengaruhi tingkat kekerasan suatu baja dan berapa besar persentasenya.

3. Bagaimana hubungan antara nilai kekerasan material logam baja dengan variasi kandungan unsur logam penyusunnya.

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 baja yang digunakan adalah baja SS304, SS310, Low Alloy dan 17-4PH. Keempat baja tersebut merupakan baja yang paling sering digunakan dalam perindustrian.
2. Spesimen logam baja yang diteliti adalah produksi dari Industri Petrokimia Gresik Jawa Timur pada tahun 2017 di Laboratorium Mekanik.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, dapat dirumuskan permasalahan, yaitu:

1. Bagaimana tingkat kekerasan logam pada sampel baja SS304, SS310, Low Alloy, dan 17-4PH?
2. Bagaimana hasil identifikasi unsur pada logam baja?
3. Bagaimana hubungan antara tingkat kekerasan logam baja dengan kandungan unsur di dalamnya?

E. Tujuan Penelitian

Sesuai dengan rumusan masalah, maka tujuan dari penulisan skripsi ini adalah:

1. Menentukan tingkat kekerasan logam pada sampel baja SS304, SS310, Low Alloy, dan 17-4PH.
2. Menentukan jenis dan kandungan unsur pada logam baja paduan.
3. Mengetahui hubungan antara tingkat kekerasan dengan kandungan unsur di dalam logam baja.

F. Manfaat Penelitian

Sesuai rumusan masalah dan tujuan penelitian, maka manfaat dari penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi penulis

Menambah pengetahuan mengenai kekerasan dan ketahanan logam baja (yang diuji dengan menggunakan *Rockwell*) dengan variasi kandungan unsur logam penyusunnya (dianalisis dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* dan *Optical Emission Spectroscopy*).

2. Bagi mahasiswa

- a. Memberikan sumbangan positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan khususnya ilmu logam.
- b. Menambah wawasan untuk dipelajari sebagai bahan perkuliahan dan dapat pula dijadikan dasar untuk penelitian selanjutnya.

3. Bagi peneliti

Membantu menggabungkan wawasan yaitu menerapkan hasil penelitian yakni terkait kekerasan material logam baja pada penggunaan plat baja dan pembuatan konstruksi berbahan dasar logam pada industri.

4. Bagi masyarakat

Memberikan pengetahuan kepada masyarakat serta membantu dalam pemilihan material logam disesuaikan dengan tingkat kekerasan yang diperlukan.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Logam

Menurut Amanto & Daryanto (2003: 18), bahan logam memiliki empat sifat karakteristik berikut ini.

1. Sifat Mekanis

Sifat mekanis suatu logam adalah kemampuan atau kelakuan logam untuk menahan beban yang diberikan, baik beban statis atau dinamis pada suhu biasa, suhu tinggi maupun suhu di bawah 0°C. Beban statis adalah beban yang tetap, baik besar maupun arahnya pada setiap saat, sedangkan beban dinamis adalah beban yang besar dan arahnya berubah menurut waktu.

Beban statis dapat berupa beban tarik, tekan lentur, puntir, geser, dan kombinasi dari beban tersebut. Sementara itu, beban dinamis dapat berupa beban tiba-tiba, berubah-ubah, dan beban jalar. Sifat mekanis logam meliputi kekuatan, kekenyalan, ketahanan, kekerasan, kegetasan, keuletan, tahan aus, batas penjalaran, dan kekuatan *stress rupture*. Sifat mekanik logam dibedakan menjadi sembilan sifat berikut ini.

a. Sifat Logam pada Pembebanan Tarik

Bila suatu logam dibebani beban tarik maka akan mengalami deformasi, yaitu perubahan ukuran atau bentuk karena pengaruh beban yang dikenakan padanya. Deformasi ini dapat terjadi secara elastis dan secara plastis. Deformasi elastis, yaitu suatu perubahan yang segera

hilang kembali apabila beban ditiadakan. Deformasi plastis, yaitu suatu perubahan bentuk yang tetap ada meskipun beban yang menyebabkan deformasi ditiadakan.

b. Sifat Logam pada Pembebanan Dinamis

Beban yang dibebani secara dinamis akan lelah dan patah, meskipun dibebani di bawah kekuatan statis. Kelelahan adalah gejala patah dari bahan disebabkan oleh beban yang berubah-ubah. Kekuatan kelelahan suatu logam adalah tegangan bolak-balik tertentu yang dapat ditahan oleh logam itu sampai banyak balikan tertentu.

c. Sifat penjalaran

Sifat penjalaran adalah penambahan panjang yang terus menerus pada beban yang konstan. Bila suatu bahan mengalami pembebanan tarik tertentu dan tetap maka penambahan panjangnya mungkin tidak berhenti sampai ia patah atau mungkin berhenti tergantung pada besarnya beban tarik tersebut.

d. Sifat Logam terhadap Beban Tiba-tiba

Bila deformasi mempunyai kecepatan regangan yang tinggi maka bahan umumnya akan mengalami patah getas, akibat bahan dikenai beban tiba-tiba. Melihat sifat tersebut dilakukan percobaan pukul yang dilakukan pada batang uji dan diberi tarikan menurut standar yang telah ditentukan.

e. Sifat Kekerasan Logam

Kekerasan adalah ketahanan bahan terhadap deformasi plastis karena pembebanan setempat pada permukaan berupa goresan atau penekanan. Sifat ini banyak hubungannya dengan sifat kekuatan, daya tahan aus, dan kemampuan dikerjakan dengan mesin (mampu mesin). Cara pengujian kekerasan ada tiga macam yaitu: (1) goresan, (2) menjatuhkan bola baja, dan (3) penekanan.

f. Sifat Penekanan

Sifat ini hampir sama dengan sifat tarikan, untuk bahan getas besaran sifat tekanannya cenderung lebih tinggi dari sifat tarikya.

g. Sifat Logam terhadap Geser dan Puntir

Pengujian geser suatu logam akan sulit dilakukan dengan cara memberi beban perlawanan pada titik yang berlainan (tidak terletak pada suatu garis lurus dan salah satu arah beban), karena akan terjadi pembengkokan. Lebih praktis adalah ketika memberikan beban puntir pada sumbu suatu bahan yang berbentuk tabung.

h. Sifat Redaman Logam

Apabila suatu logam ditarik atau ditekan sehingga terjadi deformasi elastis, kemudian beban tersebut dihilangkan maka energi yang dibutuhkan mengubah bentuk asal selalu lebih rendah daripada energi untuk deformasi elastis, karena penekanan atau tarikan tersebut.

i. Sifat Plastis

Sifat plastis adalah kemampuan suatu logam atau bahan dalam keadaan padat untuk dapat diubah bentuk yang tetap tanpa pecah. Sifat itu penting untuk dipertimbangkan dalam pengolahan bentuk suatu logam.

2. Sifat Fisik

Sifat fisik adalah sifat bahan karena mengalami peristiwa fisika, seperti adanya pengaruh panas dan listrik, diantaranya:

- a. sifat karena pengaruh panas antara lain mencair, perubahan ukuran, dan struktur karena proses pemanasan.
- b. sifat listrik yang terkenal adalah tahanan dari suatu bahan terhadap aliran listrik atau sebaliknya sebagai daya hantar listrik.

3. Sifat Pengerjaan atau Sifat Teknologis

Sifat pengerjaan suatu logam adalah sifat suatu bahan yang timbul dalam proses pengolahannya. Sifat itu harus diketahui terlebih dahulu sebelum pengolahan bahan dilakukan. Pengujiannya yang dilakukan antara lain pengujian mampu las, mampu mesin, mampu cor, dan mampu keras.

4. Sifat Kimia

Sifat kimia dari suatu bahan mencakup kelarutan bahan tersebut pada larutan basa atau garam, dan pengoksidasi bahan tersebut. Hampir semua sifat kimia erat hubungannya dengan kerusakan secara kimia. 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, sedangkan logam murni adalah logam yang diperoleh dari hasil alam (tambang) dan tidak terdapat campuran unsur lain.

Logam paduan mempunyai sifat fisis yang lebih baik dibandingkan dengan logam murni. Paduan antara dua logam yang lemah akan diperoleh logam paduan yang kuat dan keras. 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), dan lainnya.

B. Logam Baja

Baja didefinisikan sebagai suatu campuran besi dan karbon. Kandungan karbon di dalam baja sekitar 0,1% sampai 1,7%, sedangkan unsur lainnya dibatasi oleh persentasenya (Amanto & Daryanto, 2003: 22). Baja dikelompokkan menjadi dua golongan besar, yaitu (1) baja karbon dan (2) baja paduan. Sifat mekanik baja sangat sensitif terhadap kadungan karbon, dimana semakin tinggi kadar karbon, semakin tinggi kekuatan dan kekerasan baja tersebut (Sofyan, 2010: 52).

Menurut Amstead, dkk. (1985: 51), secara garis besar baja dapat dikelompokkan menjadi dua, yakni baja karbon dan baja paduan.

1. Baja karbon (*plain Carbon Steel*)

Baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah kandungan karbonnya. Baja karbon terdiri atas tiga macam, yaitu baja karbon rendah, sedang, dan tinggi, terdiri dari :

a. *Low carbon steel* ($<0,30\% C$)

Baja ini memiliki tingkat kekerasan relatif 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, dan mur baut.

b. *Medium carbon steel* ($0,3 <C <0,7$)

Baja ini 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* ($0,70 <C <1,40\%$)

Baja ini 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

Bahan paduan dapat didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih campuran seperti nikel, kromium, molibden, vanadium, mangan, dan wolfram yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki (keras, kuat, dan liat), tetapi unsur karbon tidak dianggap sebagai salah satu unsur campuran (Amanto & Daryanto, 2003: 34). Baja paduan dihasilkan dengan biaya yang lebih mahal dari baja karbon karena bertambahnya biaya untuk penambahan pengerjaan yang khusus yang dilakukan di dalam industri atau pabrik.

Baja paduan digunakan karena keterbatasan baja karbon sewaktu dibutuhkan sifat-sifat yang spesialnya yaitu reaksinya terhadap pengerjaan panas dan kondisinya. Sifat-sifat spesial yang diperoleh dengan pencampuran termasuk sifat-sifat kelistrikan, magnetis, dan koefisien spesifik dari pemuaian panas dan tetap keras pada pemanasan yang berhubungan dengan pemotongan logam (Amanto & Daryanto, 2003: 34). Baja paduan terdiri atas dua macam, yaitu:

a. Baja paduan rendah (*low alloy steel*) (*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 mampu mesin yang baik, dan sifat mampu las yang tinggi (*weldability*), untuk mendapatkan

sifat-sifat tersebut maka baja ini diproses secara khusus dengan menambahkan unsur-unsur seperti tembaga (Cu), nikel (Ni), krom (Cr), molibdenum (Mo), dan vanadium (Va).

b. Baja Paduan Tinggi (*high alloy steel*) (*total alloying* > 8%)

Baja paduan tinggi terbagi atas *Stainless steel* (austenitik SS = 18% Cr & 8% Ni) dan *tool steel*. Baja *Stainless steel* 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 *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 (Surdia & Shinroku, 1999: 31).

Tool steel (baja perkakas) merupakan baja khusus yang berkualitas tinggi dan dipakai untuk membuat perkakas perautan (*cutting*) maupun pembentukan (*forming*) (Surdia & Shinroku, 1999: 31). 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.

Suatu kombinasi antara dua atau lebih unsur campuran memberikan sifat khas dibandingkan dengan menggunakan satu unsur campuran. Misalnya baja yang dicampur dengan unsur kromium dan nikel akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras dan kenyal (sifat logam ini membuat baja dapat dibentuk dengan cara dipalu, ditempa, digiling, dan ditarik tanpa mengalami

patah atau retak-retak). Jika baja dicampur dengan kromium dan molibden, akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras yang baik dan sifat kenyal yang memuaskan serta tahan terhadap panas. Baja dengan berbagai jenis sifatnya juga akan berpengaruh pada manfaat pemakaian jenis baja tersebut. Klasifikasi baja dalam penggunaannya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Logam *Ferro* dan Pemakaiannya (Robbina, 2012: 9)

Nama	Komposisi	Sifat	Pemakaian
Baja Lunak (Mild Steel)	Campuran <i>ferro dan karbon</i> (0,1% - 0,3%)	Ulet dan dapat ditempa dingin	Pipa, mur, baut, dan sekrup
Baja Karbon Sedang (Medium Carbon Steel)	Campuran <i>ferro dan karbon</i> (0,4% - 0,6%)	Lebih ulet	Poros, rel baja, dan peron
Baja Karbon Tinggi (High Carbon Steel)	Campuran <i>ferro dan karbon</i> (0,7% - 1,5%)	Dapat ditempa dan disepuh	Perlengkapan mesin perkakas, kikir, gergaji, pahat, tap, penitik, dan stempel
Baja Kecepatan Tinggi (High Speed Steel)	Baja karbon tinggi ditambah dengan diumnikel/ krom/ kobalt/ tungsten/ vana	Getas, dapat disepuh keras, dimudahkan, dan tahan terhadap suhu tinggi	Alat potong yang digunakan ialah pahat bubut, pisau fris, mata bor, dan perlengkapan mesin perkakas.

C. Baja Karbon

Unsur karbon adalah unsur campuran yang sangat penting dalam pembentukan baja. Jumlah persentase dan unsurnya membawa pengaruh yang sangat besar pada sifat baja. Unsur karbon yang bercampur dalam baja

sekitar +0,1% - 2,0%, jika kandungan karbon pada baja kurang dari 0,15% maka tidak terjadi perubahan sifat-sifat baja setelah dikeraskan dengan cara dipanaskan dan didinginkan (Robbina, 2012: 11). Unsur karbon dapat bercampur dengan besi dan baja setelah didinginkan secara perlahan-lahan pada temperatur kamar dalam bentuk sebagai berikut:

1. Larut dalam besi untuk membentuk larutan pada *ferit* yang mengandung karbon diatas 0,006 % pada temperatur kamar. Unsur karbon akan naik lagi sampai 0,03 % pada temperatur 725°. *Ferit* bersifat lunak, tidak kuat dan kenyal.
2. Sebagai campuran kimia dalam besi, campuran ini disebut *sementit* (Fe₃C) yang mengandung 6,67 % karbon. *Sementit* bersifat keras dan rapuh.

Dibandingkan dengan jenis baja yang lainnya, baja karbon rendah merupakan jenis baja yang diproduksi dalam jumlah terbesar. Struktur mikronnya terdiri atas *ferit* dan *perlit*, sehingga bersifat lunak, tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang sangat baik. Baja ini dapat dimesin (dibubut) dan dilas, tetapi tidak responsif terhadap perlakuan panas. Artinya, baja ini tidak membentuk struktur martensit ketika didinginkan dengan cepat (Sofyan, 2010: 53).

Kelompok lain dari baja karbon rendah adalah baja paduan rendah berkekuatan tinggi atau yang dikenal juga sebagai baja HSLA. Kelompok baja ini mengandung unsur paduan, seperti tembaga, vanadium, nikel, dan

molibdenum yang totalnya dapat mencapai 10 wt.%. Kekuatannya jauh lebih tinggi daripada baja karbon rendah biasa. Kekuatannya dapat mencapai 480 Mpa dan umumnya lebih tahan korosi (Robbina, 2012: 11).

Baja karbon rendah sering digunakan untuk kawat, baja profil, sekrup, ulir dan baut. Baja karbon sedang digunakan untuk rel kereta api, as, roda gigi dan suku cadang yang berkekuatan tinggi, atau dengan kekerasan sedang sampai tinggi. Baja karbon tinggi digunakan untuk perkakas potong seperti pisau, gurdi, dan bagian-bagian yang harus tahan gesekan (Surdia & Shinroku, 1999: 31).

Baja karbon sedang mengandung karbon sebesar 0,30 – 0,70 wt.%. Baja ini lebih kuat daripada baja karbon rendah, tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang lebih rendah, serta dapat diberi perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatannya. Aplikasi dari baja ini, seperti rel kereta api, roda gigi, *crankshaft*, dan lain-lain (Sofyan, 2010: 54).

Baja karbon tinggi mengandung karbon sebesar 0,70 – 1,40 wt.%, dan merupakan baja karbon yang paling kuat dan paling keras, serta tidak ulet. Struktur mikro baja ini terdiri atas *perlit* dan *sementit* (Fe_3C) yang sangat keras dan terdapat dibatas butir. Baja ini umumnya dipakai dalam kondisi dikeraskan dan ditemper, sehingga memiliki ketahanan aus yang tinggi. Baja karbon tinggi yang memiliki paduan yang tinggi, baja perkakas dan baja cetakan (*die steel*) umumnya mengandung kromium, vanadium, tungsten, dan molibdenum. Unsur-unsur ini merupakan unsur pembentuk karbida (Cr_{23} , C_6 ,

V_4C_3 , dan lain-lain) yang sangat keras dan memiliki tahanan aus yang tinggi. Aplikasi dari baja karbon tinggi, seperti alat potong, bantalan, cetakan, pisau, mata gergaji, dan pegas (Sofyan, 2010: 54-55).

D. Jenis Baja Paduan

Menurut Alexander (1990: 40), berdasarkan unsur-unsur campuran dan sifat dari baja maka baja paduan dapat digolongkan menjadi baja dengan kekuatan tarik yang tinggi, tahan pakai, tahan karat, dan baja tahan panas.

1. Baja dengan Kekuatan Tarik yang Tinggi

Baja ini mengandung mangan, nikel, kromium, dan sering juga mengandung vanadium dan dapat digolongkan sebagai berikut.

- a. Baja dengan Mangan Rendah
- b. Baja Nikel
- c. Baja Nikel Kromium
- d. Baja Kromium Vanadium

2. Baja Tahan Pakai

Berdasarkan unsur-unsur campuran yang larut di dalamnya, baja terdiri dari dua macam, yaitu baja mangan berlapis austenit dan baja kromium.

3. Baja Tahan Karat

Baja tahan karat (*stainless steel*) mempunyai seratus lebih jenis yang berbeda-beda. Akan tetapi, seluruh baja itu mempunyai satu sifat karena kandungan kromium yang membuatnya tahan terhadap karat. Baja tahan karat

dapat dibagi menjadi tiga kelompok dasar, yakni baja tahan karat berlapis *ferit*, berlapis austenit, dan berlapis martensit (Robbina, 2012: 14).

4. Baja Tahan Panas

Masalah utama yang berhubungan dengan penggunaan temperatur tinggi adalah kehilangan kekuatan, beban rangkai, serangan oksidasi, dan unsur kimia. Unsur nikel akan membantu penahanan kekuatan pada temperatur tinggi dengan memperlambat atau menahan pertumbuhan butiran-butiran yang baru. Ketahanannya terhadap oksidasi dan serangan kimia dapat diperbaiki dengan menambah silikon atau kromium (Robbina, 2012: 13).

Baja tahan panas dikelompokkan sebagai berikut:

- a. baja Tahan Panas *Ferit*
- b. baja Tahan Panas Austenit
- c. baja Tahan Panas Martensit

5. Baja yang digunakan pada Temperatur Rendah

Komponen dari baja paduan yang digunakan pada temperatur rendah tidak hanya sifat-sifatnya terpelihara sewaktu didinginkan, tetapi juga sifat-sifatnya tidak hilang sewaktu dipanaskan pada temperatur kamar.

Baja yang digunakan pada temperatur rendah dikelompokkan sebagai berikut:

- a. baja Pegas
- b. baja Katup Mesin (Motor)

6. Baja Paduan Martensit yang Dikeraskan

Cara yang biasa dilakukan untuk menghasilkan baja berkekuatan tinggi adalah dengan cara perlakuan panas yang menjadikan struktur martensit, yang diikuti dengan perlakuan panas lanjutan untuk memodifikasi atau mengubah martensit. Baja ini dihasilkan seperti untuk membuat struktur menjadi kuat dan ringan tetapi tidak dapat menggantikan baja yang biasa karena biaya pengerjaannya tinggi (Nugraheni, 2014: 7).

E. Pengaruh Unsur Campuran dalam Baja

Paduan merupakan campuran antara dua unsur atau lebih yang membentuk struktur kristal yang memiliki sifat logam. Salah satu komponen campuran tersebut haruslah unsur logam, tetapi lainnya dapat logam maupun bukan logam, asalkan ikatan utama dalam kristal adalah ikatan logam (Alexander, 1990: 41).

Sifat baja sangat tergantung pada unsur-unsur yang terkandung dalam baja. Baja karbon biasanya mempunyai kekurangan diantaranya kekerasan baja tidak merata, sifat mekanis yang rendah, kurang tahan terhadap tekanan, kekerasan, korosi dan lain sebagainya. Penambahan unsur campuran digunakan untuk memperbaiki sifat pada baja (Amanto & Daryanto, 2003: 114).

Menurut Amanto & Daryanto (2003: 120), terdapat dua jenis unsur campuran dalam baja, berikut ini diantaranya jenis unsur campuran dalam baja.

1. Unsur Campuran Dasar (Karbon)

Unsur karbon adalah unsur campuran yang amat penting dalam pembentukan baja, jumlah persentase dan bentuknya membawa pengaruh yang amat besar terhadap sifatnya.

2. Unsur-unsur Campuran Lainnya

Disamping unsur karbon sebagai campuran dalam besi, juga terdapat unsur-unsur campuran lainnya yang jumlah persentasenya dikontrol. Pengaruh unsur tersebut pada baja adalah sebagai berikut:

a. unsur *Fosfor*

Fosfor dianggap sebagai unsur yang tidak murni dan jumlah kehadirannya di dalam baja dikontrol dengan cepat sehingga persentase maksimum unsur fosfor di dalam baja sekitar 0,05%. Kualitas biji besi tergantung dari kandungan fosfornya.

b. unsur *Sulfur*

Unsur sulfur membahayakan larutan besi sulfida (besi belerang) yang mempunyai titik cair rendah dan rapuh. Baja dipanaskan dalam waktu yang singkat karena menjadi cair pada temperatur pengerjaan panas dan juga menyebabkan baja menjadi retak-retak. Kandungan sulfur harus dijaga serendah mungkin di bawah 0,05% (Amstead, dkk. 1985: 52).

c. unsur *Silikon*

Silikon membuat baja menjadi tidak stabil, tetapi unsur tetap menghasilkan lapisan grafit (pemecah *sementit* yang menghasilkan grafit) dan menyebabkan baja menjadi tidak kuat. Baja mengandung silikon sekitar 0,1 - 0,3% (Amstead, dkk. 1985: 52).

d. unsur *Mangan*

Kandungan mangan di dalam baja harus dikontrol untuk menjaga ketidakteraturan sifatnya dari sekumpulan baja yang lain. Baja karbon mengandung mangan lebih dari 1%.

Pengaruh unsur campuran sukar diketahui secara tepat untuk setiap satu unsur campuran karena pengaruhnya tergantung pada jumlah yang digunakan, jumlah penggunaan dari unsur-unsur lainnya dan kandungan karbon di dalam baja (Amstead, dkk. 1985: 53).

Menurut Amanto & Daryanto (2003: 34), terdapat dua pengaruh unsur campuran pada baja berikut, yaitu:

1. Pengaruh Unsur Campuran terhadap Perlakuan Panas

Pengaruh unsur campuran sewaktu dilakukan pemanasan dan pendinginan adalah sebagai berikut:

a. pengaruh yang menyeluruh

Pengaruh ini berhubungan dengan kecepatan pendinginan kritis dan pengerasan lapisan dalam baja. Kecepatan pendinginan kritis dapat

dikurangi dengan mencampurkan unsur-unsur kromium, mangan, dan wolfram ke dalam baja.

b. baja bercampur unsur nikel

Unsur campuran ini akan membuat temperatur pemanasan menjadi rendah dan membentuk struktur austenit, juga temperatur pengerasan menjadi rendah.

c. pembentukan unsur karbid dengan penambahan unsur campuran seperti kromium dan molibdenum akan menghasilkan pengerasan bagian dalam dan pengaruh menyeluruh terhadap baja akan berkurang.

2. Pengaruh Unsur Campuran terhadap Sifat-sifat Baja

Menurut Dieter, G. E. (1993: 330), adapun pengaruh unsur-unsur campuran terhadap sifat-sifat baja adalah sebagai berikut:

a. kekuatan baja dinaikkan dengan menambahkan unsur campuran seperti nikel dan mangan dalam jumlah yang kecil ke dalam besi dan menguatkannya.

b. kekenyalan besi dapat diperoleh dengan menambahkan sedikit nikel yang menyebabkan butiran-butirannya menjadi halus.

c. untuk menghasilkan ketahanan pakai adalah dengan menambahkan nikel atau mangan agar transformasi temperatur rendah, dan akan menyebabkan pembentukan austenit dengan jalan pendinginan.

d. kekerasan dan kekuatan baja karbon akan mulai turun apabila temperaturnya mencapai 250°C.

- e. ketahanan baja terhadap karatan diperoleh dengan menambahkan unsur krom sampai 12%, sehingga membentuk lapisan tipis berupa oksida pada permukaan baja untuk mengisolasi antara besi dengan unsur-unsur yang menyebabkan karatan.

Perubahan struktur biasanya disebabkan adanya unsur karbon, tetapi baja umumnya mengandung unsur lain yang ditambahkan untuk tujuan tertentu. Menurut Alexander, dkk. (1990: 59-60), penambahan unsur lain pada baja mempunyai tiga fungsi berikut diantaranya.

1. Sebagai substitusi atom besi dalam larutan padat atau dalam *sementit* untuk meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan ketangguhan. Selain itu, elemen paduan dapat dimanfaatkan guna membatasi pertumbuhan butir dan kristal selama proses transformasi atau perlakuan panas. Unsur lainnya ditambahkan untuk mengikat kotoran atau ketidakmurnian dalam besi seperti belerang atau nitrogen.
2. Untuk menjamin terbentuknya *martensit* pada laju pendinginan yang lebih rendah daripada laju pendinginan celup air. Panas dari tengah logam dapat merambat kepermukaan dengan kecepatan tertentu, dan bila bentuk benda tak teratur, laju pendinginan di pusat benda mungkin terlalu lambat untuk menjamin terbentuknya *martensit*. Sejumlah kecil unsur paduan (kurang dari 5%) seperti krom, nikel, molibdenum, dan vanadium, khususnya bila digunakan dalam kombinasi tertentu dapat mendorong pembentukan struktur *martensit* di pusat benda. Unsur

paduan yang memiliki fungsi ini disebut unsur yang dapat meningkatkan kemampukerasan baja. Perlu dicatat bahwa kemampuan pengerasan adalah suatu efek berkaitan dengan struktur dan bukan terhadap level kekerasan tertentu, yang semata-mata ditentukan oleh kadar karbon.

3. Untuk membentuk *karbida* yang lebih tahan keras dan tahan aus daripada *sementit* (Fe_3C) dan disamping itu untuk mengatur penemperan *martensit*. Tujuannya kekerasan baja karbon tanpa paduan terjadi antara suhu 300°C dan 400°C , tetapi pada baja yang mengandung tungsten, krom, kobalt, dan vanadium penurunan kekerasannya akan terjadi disekitar suhu 650°C . Ini berarti bahwa baja paduan jenis ini dapat digunakan untuk perkakas pemrosesan berkecepatan tinggi. Pada proses ini perkakas dapat mengalami pemanasan setempat. Paduan baja ini disebut baja perkakas kecepatan tinggi. Fungsi penambahan unsur untuk memperbaiki tangguhan martensit temper sangat berarti untuk penerapan dalam rekayasa.

Menurut Surdia, T., & Shinroku, S. (1992), unsur-unsur campuran dalam baja yang membawa pengaruh, yaitu:

1. Unsur Silisium (Si)

Silisium/silikon merupakan unsur paduan yang ada pada setiap baja dengan jumlah kandungan lebih dari 0,4% yang mempunyai pengaruh kenaikan tegangan tarik dan menurunkan kecepatan pendinginan kritis.

2. Unsur Mangan (Mn)

Unsur mangan dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai *deoxidizer* (pengikat) sehingga proses peleburan dapat berlangsung baik.

3. Unsur Krom (Cr)

Unsur krom meninggikan kekuatan tarik dan keplastisan, menambah kekerasan, meningkatkan tahan korosi dan tahan suhu tinggi.

4. Unsur Vanadium (V) dan Wolfram (W)

Unsur Vanadium dan Wolfram ini membentuk karbidat yang sangat keras dan memberikan baja dengan kekerasan yang tinggi, kemampuan potong dan daya tahan panas yang cukup tinggi pada baja yang sangat diperlukan untuk pahat potong dengan kecepatan tinggi.

5. Molibdenum

Molibdenum merupakan logam berwarna putih keperakan yang ulet dan lebih lunak dari pada tungsten. Logam ini memiliki titik lebur 2.621°C dan berat jenis $10,2 \text{ g/cm}^3$. Penguatan yang bisa dilakukan oleh logam ini adalah dengan pengerasan regang saja, tidak bisa dengan perlakuan panas. Pada suhu ruang, molibdenum tidak bereaksi dengan oksigen dan air. Namun demikian, pada suhu tinggi, molibdenum bereaksi dengan oksigen membentuk molibdenum trioksida. Ekspansi panas yang dimiliki molibdenum paling kecil jika dibandingkan dengan logam komersial yang lainnya, sedangkan konduktivitas panasnya dua kali lipat besi.

Aplikasi molibdenum antara lain untuk unsur paduan pada baja dan besi tuang untuk meningkatkan kemampukerasan, ketangguhan, kekuatan, ketahanan mulur, dan ketahanan korosi. Di bidang industri molibdenum dipakai untuk inti pada pengecoran dengan cetakan logam dan sebagai elemen pemanas pada dapur listrik. Industri nuklir, kimia, kaca, rudal, dan pesawat terbang juga banyak menggunakan molibdenum sebagai bahan dasarnya (Sofyan, 2010: 78).

6. Tungsten

Tungsten merupakan logam berwarna putih keabu-abuan yang memiliki berat jenis $19,6 \text{ g/cm}^3$. Titik lebur yang mencapai 3.410°C menjadikan tungsten sebagai logam dengan titik lebur tertinggi diantara logam-logam lainnya.

Tungsten diaplikasikan untuk alat potong dan berbagai jenis aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus. Kombinasi tungsten bersama kobalt berfungsi sebagai pengikat, tungsten dapat dibentuk menjadi karbida *sementit* yang tahan aus (Sofyan, 2010: 78).

F. Pengujian Logam

Menurut Doddi, Y. (2016), proses pengujian logam adalah proses pemeriksaan bahan-bahan untuk diketahui sifat dan karakteristiknya yang meliputi sifat mekanik, sifat fisik, bentuk struktur, dan komposisi unsur-unsur yang terdapat di dalamnya. Metode pengujian dikelompokkan ke dalam tiga

kelompok menurut proses pengujiannya, berikut metode pengujian diantaranya.

1. *Destructive Test* (DT), yaitu proses pengujian logam yang dapat menimbulkan kerusakan logam yang diuji.
2. *Non Destructive Test* (NDT), yaitu proses pengujian logam yang tidak dapat menimbulkan kerusakan logam atau benda yang diuji.
3. *Metallography*, yaitu proses pemeriksaan logam tentang komposisi kimianya, unsur-unsur yang terdapat didalamnya, dan bentuk strukturnya.

G. Uji Kekerasan (*Hardness Test*)

Salah satu sifat mekanik yang penting adalah kekerasan. Pada umumnya, kekerasan merupakan ketahanan terhadap deformasi, dan untuk logam dengan sifat tersebut merupakan ukuran ketahanannya terhadap deformasi plastik atau permanen. Menurut orang yang berkecimpung dalam mekanika pengujian bahan, banyak yang mengartikan kekerasan sebagai ukuran ketahanan terhadap lekukan. Menurut para insinyur perancang, kekerasan diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu logam. Terdapat tiga jenis umum mengenai ukuran kekerasan, yang tergantung pada cara melakukan pengujian. Ketiga jenis tersebut adalah (1) kekerasan goresan (*scratch hardness*), (2) kekerasan lekukan (*indentation hardness*), dan (3)

kekerasan pantulan (rebound) atau kekerasan dinamik (*dynamic hardness*) (Dieter, 1996: 328).

Pada umumnya kekerasan merupakan ketahanan terhadap deformasi, dan untuk logam kekerasan merupakan ukuran ketahanan terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen (Dieter, 1996: 328). Proses pengujian kekerasan dapat diartikan sebagai kemampuan suatu bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap. Besar tingkat kekerasan dari bahan dapat dianalisis melalui besarnya beban yang diberikan terhadap luas bidang yang menerima pembebanan tersebut. Pengujian yang banyak dipakai adalah dengan cara menekankan penekanan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan mengukur bekas hasil penekanan yang terbentuk di atasnya (Surdia & Saito, 1992: 31).

Kekerasan merupakan ukuran ketahanan material terhadap deformasi plastis teralokasi. Pengujian kekerasan yang terdahulu adalah uji kekerasan Mohs, berdasarkan skala kemampuan material untuk menggores material lain (dari 1 = talk sampai dengan 10 = intan). Kini terdapat berbagai metode pengujian kekerasan seperti *Brinell*, *Vickers*, dan *Rockwell*. Pada metode pengujian kekerasan tersebut, umumnya, digunakan indentor kecil (berbentuk bola atau piramid) yang ditekan ke permukaan bahan dengan mengontrol besar beban dan laju pembebanan. Indentasi (besar jejak) kemudian diukur dengan mikroskop ukur (Sofyan, 2010: 34-35).

Menurut Sofyan (2010: 35), kekerasan merupakan ukuran ketahanan bahan terhadap deformasi tekan. Sebuah indenter keras ditekan ke permukaan logam yang diuji. Deformasi yang terjadi merupakan kombinasi perilaku elastis dan plastis, akan tetapi kekerasan pada umumnya hanya berkaitan dengan sifat plastis dan hanya untuk sebagian kecil bergantung pada sifat elastis. Dikenal beberapa cara pengukuran kekerasan, seperti kekerasan gores, yang bergantung pada kemampuan gores bahan yang satu terhadap bahan yang lainnya. Selain itu dikenal pula kekerasan puntir (dinamis) yang mencakup deformasi dinamis dari permukaan yang dinyatakan dalam jumlah energi impact yang diserap permukaan logam pada saat benda penekan jatuh. Pengukuran kekerasan indentasi merupakan cara pengukuran kekerasan yang paling banyak digunakan.

Pengujian kekerasan merupakan teknik untuk mengetahui sifat mekanik dari suatu material yang paling sering dilakukan. Berbagai alasannya, seperti (1) sederhana dan relatif murah; tidak memerlukan spesimen yang khusus dan alatnya relatif murah, serta (2) sifat mekanik lain – seperti kekuatan tarik – dapat diperkirakan dari nilai kekerasan (Sofyan, 2010: 35).

Perbedaan pokok terletak pada bentuk indenter yang ditekan pada permukaan. Uji kekerasan *Brinell* menggunakan indenter bola baja yang dikeraskan, uji *Vickers* menggunakan piramida intan bersudut 136° sebagai indenter, sedangkan uji *Rockwell* menggunakan indenter kerucut intan bersudut 120° dengan ujung yang agak bulat. Meskipun indentornya berbeda,

bilangan kekerasan menggambarkan perbandingan antara beban dan luas permukaan jejak (Alexander, 1990: 81-82).

Cara pengukuran kekerasan yang berbeda ternyata dapat memberikan korelasi yang cukup baik, khususnya untuk nilai kekerasan yang rendah. Meskipun pengukuran kekerasan memiliki keterbatasan sebagai sarana pengukuran absolut, pengukuran kekerasan dapat dimanfaatkan secara efektif untuk penilaian bahan dan pengendalian mutu atau bilamana diperlukan evaluasi kualitatif (Alexander, 1990: 82).

H. Uji Kekerasan Menggunakan *Rockwell*

Menurut Dieter (1996: 328), terdapat tiga jenis ukuran kekerasan tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu: (1) Kekerasan goresan (*scratch hardness*); (2) Kekerasan lekukan (*indentation hardness*); (3) Kekerasan pantulan (*rebound*). Khusus pada bahan logam, ukuran kekerasan logam hanya dapat dilakukan dengan pengujian kekerasan lekukan (*indentation hardness*). Terdapat berbagai macam uji kekerasan lekukan, antara lain: Uji kekerasan *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell*, *Knoop*, dan sebagainya (Davis dkk, 1955).

Pengujian rockwell mirip dengan pengujian brinell, yakni angka kekerasan yang diperoleh merupakan fungsi derajat indentasi. Beban dan indenter yang digunakan bervariasi tergantung pada kondisi pengujian. Berbeda dengan pengujian *brinell*, pada pengujian *Rockwell* indenter dan beban yang digunakan lebih kecil sehingga menghasilkan indentasi yang

lebih kecil dan lebih halus. Metode *rockwell* banyak digunakan di industri karena prosedurnya lebih cepat (Davis dkk, 1955).

Berikut dua jenis indenter pengujian kekerasan baja.

1. Intan berbentuk kerucut

Dengan sudut 120° (dikenal dengan indenter Brale). Intan digunakan untuk menguji material yang keras (>100 HRb dan $>83,1$ HR30T). *Hardness number* (nomor kekerasan) ditentukan oleh perbedaan kedalaman penetrasi indenter, dengan cara memberi beban minor diikuti beban major yang lebih besar.

2. Bola baja keras

Bola baja yang dikeraskan dengan diameter ukuran $1/16$, $1/8$, $1/4$, $1/2$ inci. Jenis indenter ini digunakan untuk menguji material yang lunak.

Pembebanan dalam proses pengujian kekerasan metode *Rockwell* diberikan dalam dua tahap. Tahap pertama disebut beban minor dan tahap kedua (beban utama) disebut beban mayor. Beban minor besarnya maksimal 10 kg, sedangkan mayor bergantung pada skala kekerasan yang digunakan. Berikut skala kekerasan alat *Rockwell* dapat diketahui pada tabel 2.

Tabel 2. Skala kekerasan pada alat uji *Rockwell* (Wahyuni, 2013: 3-4)

Simbol	Indenter	Beban Major (Kg)
A	Intan	60
B	Bola 1/16 inchi	100
C	Intan	150
D	Intan	100
E	Bola 1/8 inchi	100
F	Bola 1/16 inchi	60
G	Bola 1/16 inchi	150
H	Bola 1/18 inchi	60
K	Bola 1/18 inchi	150

Skala tersebut kemudian disesuaikan dengan penggunaan atau pemakaian pada bahan-bahan logam. Tabel 3 berikut menjelaskan skala dan pemakaiannya dengan menggunakan metode *Rockwell*.

Tabel 3. Skala dan Pemakaian Metode *Rockwell* (Doddi, 2016: 5)

Skala	Pemakaiannya
A	Untuk <i>carbide cementite</i> , baja tipis, dan baja dengan lapisan keras yang tipis
B	Untuk paduan tembaga, baja lunak, paduan aluminium, dan besi tempa
C	Untuk baja, besi tuang keras, besi tempa peritik, titanium, baja dengan lapisan keras yang dalam, dan bahan-bahan lain yang lebih keras daripada skala B-100
D	Untuk baja tipis, baja dengan lapisan keras yang sedang, dan besi tempa peritik
E	Untuk besi tuang, paduan aluminium, magnesium, dan logam-logam bantalan
F	Untuk paduan tembaga yang dilunakkan dan pelat lunak yang tipis
G	Untuk besi tempa, paduan tembaga, nikel-seng, dan tembaga-nikel
H	Untuk aluminium, seng, dan timbal
K	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis

Tabel tersebut merupakan skala yang terdapat dalam alat uji *Rockwell*, sedangkan ada tiga jenis ukuran skala yang paling sering digunakan dalam pengujian kekerasan menggunakan alat *Rockwell*. skala yang umum dipakai dalam pengujian *Rockwell* menggunakan satuan HR yang merupakan singkatan dari *Hardness Rockwell*, dan dilanjutkan dengan tipe simbol kekerasannya.

- a. HRA (Untuk material yang sangat keras)
- b. HRB (Untuk material yang lunak). Indentor berupa bola baja dengan diameter 1/16 inchi dan beban uji 100 Kgf.
- c. HRC (Untuk material dengan kekerasan sedang). Indentor berupa kerucut intan dengan sudut puncak 120 derajat dan beban uji sebesar 150 Kgf.

I. *Optical Emission Spectroscopy (OES)*

Penentuan karakter struktur dan unsur material, baik dalam bentuk pejal atau partikel, kristalin atau mirip gelas, merupakan kegiatan inti dari ilmu material. Metode umum dalam penentuan struktur dan unsur material yang diambil adalah dengan meneliti material menggunakan berkas radiasi atau partikel berenergi tinggi (Smallman & Bishop, 2000: 137).

Alat *Optical Emission Spectroscopy (OES)* merupakan alat yang dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi dan jenis unsur suatu material. Analisis sampel pada OES didasarkan karena adanya pemecahan energi yang

direpresentasikan dalam bentuk panjang gelombang dan melibatkan transisi elektron di dalam suatu atom (Twyman, 2005: 91).

Prinsip dasar dari analisa ini yaitu apabila atom suatu unsur ditempatkan dalam suatu sumber energi kalor (eksitasi atom dilakukan dengan memberikan kalor atau tegangan listrik), maka elektron orbit paling luar atom tersebut yang semula berada pada keadaan dasar atau "*ground state*" akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Elektron yang tereksitasi berada pada keadaan yang sangat tidak stabil, sehingga secepatnya akan kembali ke tingkat energi dasarnya (*ground state*). Proses kembali ke keadaan dasar, membuat elektron akan melepaskan energi dalam bentuk emisi atom pancaran sinar (Twyman, 2005: 91).

Eksitasi atom dapat digunakan untuk menganalisis konsentrasi unsur suatu material secara simultan, tergantung panjang gelombang yang dihasilkan masing masing unsur dalam material. Eksitasi atom pada OES tidak dilakukan dengan melakukan penyinaran. 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 dalam hal ini menunjukkan banyaknya energi yang dipancarkan oleh elektron dalam unsur tertentu ketika mengalami deeksitasi. (Marcos dkk, 2011: 31).

Intensitas energi yang dipancarkan oleh suatu 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 (Smallman & Bishop, 2000: 139).

Detektor mampu mendeteksi kuantitas cahaya yang diemisikan oleh elektron tersebut. Nilai intensitas energi yang diterima detektor merepresentasikan konsentrasi unsur. Semakin tinggi intensitas energi suatu unsur, maka semakin besar konsentrasi unsur tersebut di dalam logam (Marcos dkk, 2011: 32).

Besar konsentrasi unsur di dalam suatu logam dapat ditentukan melalui intensitas cahaya yang kemudian dikalibrasikan terhadap acuan standar jumlah unsur, sehingga nilai konsentrasi unsur pada alat ukur dapat diketahui dari suatu sampel uji (Sanders: 2017).

J. *X-Ray Fluorescence (XRF)*

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan teknik analisa non-destruktif yang digunakan untuk identifikasi serta penentuan konsentrasi elemen yang ada pada padatan, bubuk ataupun sample cair. XRF mampu mengukur elemen dari berilium (Be) hingga Uranium pada level *trace element*, bahkan di bawah level ppm. Secara umum, XRF spektrometer mengukur panjang gelombang komponen material secara individu dari emisi fluoresensi yang dihasilkan sampel saat diradiasi dengan sinar-X (PANalytical, 2009: 3).

Metode XRF secara luas digunakan untuk menentukan komposisi unsur suatu material. Karena metode ini cepat dan tidak merusak sampel, metode ini

dipilih untuk aplikasi di lapangan dan industri untuk kontrol material. Tergantung pada penggunaannya, XRF dapat dihasilkan tidak hanya oleh sinar-X tetapi juga sumber eksitasi primer yang lain seperti partikel alfa, proton atau sumber elektron dengan energi yang tinggi (Jamaluddin, 2016: 7).

Apabila terjadi eksitasi sinar-X primer yang berasal dari tabung X ray atau sumber radioaktif mengenai sampel, sinar-X dapat diabsorpsi atau dihamburkan oleh material. Proses dimana sinar-X diabsorpsi oleh atom dengan mentransfer energinya pada elektron yang terdapat pada kulit yang lebih dalam disebut efek fotolistrik. Selama proses ini, bila sinar-X primer memiliki cukup energi, elektron pindah dari kulit yang di dalam sehingga menimbulkan kekosongan. Kekosongan ini menghasilkan keadaan atom yang tidak stabil. Apabila atom kembali pada keadaan stabil, elektron dari kulit luar pindah ke kulit yang lebih dalam dan proses ini menghasilkan energi sinar-X yang tertentu dan berbeda antara dua energi ikatan pada kulit tersebut. Emisi sinar-X dihasilkan dari proses yang disebut X Ray Fluorescence (XRF). Proses deteksi dan analisa emisi sinar-X disebut analisa XRF. Pada umumnya kulit K dan L terlibat pada deteksi XRF. Sehingga sering terdapat istilah $K\alpha$ dan $K\beta$ serta $L\alpha$ dan $L\beta$ pada XRF. Jenis spektrum X ray dari sampel yang diradiasi akan menggambarkan puncak-puncak pada intensitas yang berbeda (Viklund, 2008: 7).

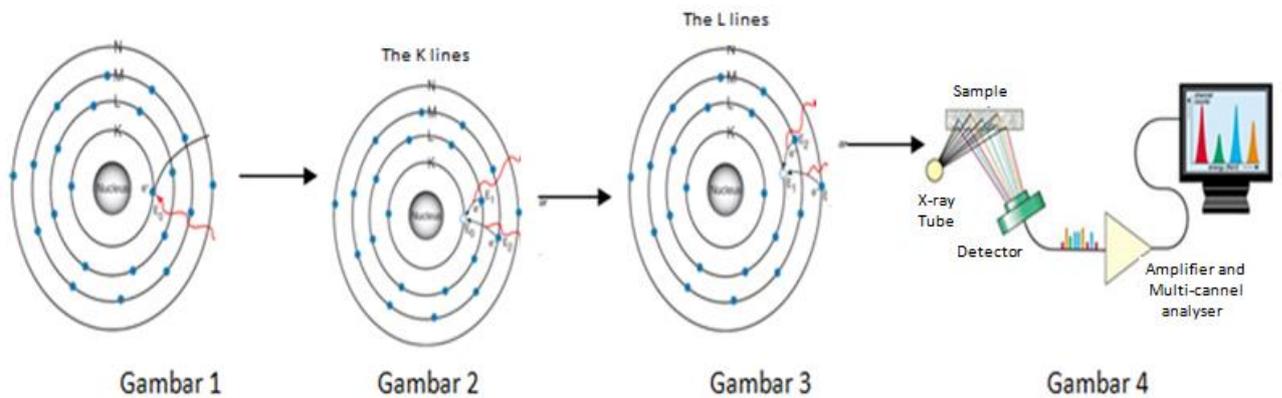
Energi pada XRF adalah karakteristik level energi dari lintasan elektron tiap elemen. Level energi berbeda untuk setiap elemen. Dengan analisis

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 yang dipancarkan, elemen kimia dapat diidentifikasi dengan menggunakan WDXRF (*wavelength dispersive XRF*) dan EDXRF (*Energy Dispersive XRF*). WDXRF (*wavelength dispersive XRF*) 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 ke detektor.

Radiasi emisi dari sampel 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: 2).

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

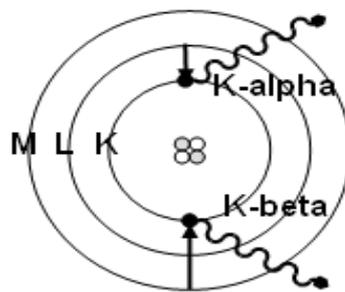


Gambar 1. (1) Elektron Tereksitasi Keluar (2) Pengisian Kekosongan Elektron (3) Pelepasan Energi (4) Proses analisis data (Sumantry, T., 2002)

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*. Penggunaan spektrum X-Ray pada saat penyinaran suatu material akan didapatkan *multiple peak* (puncak ganda karena adanya $K\alpha$ dan $K\beta$) pada intensitas yang berbeda. Model yang lain yaitu alfa, beta, atau gamma dibuat untuk menandai X-Ray yang berasal dari elektron transisi dari kulit yang lebih tinggi. $K\alpha$ dihasilkan dari transisi elektron dari kulit L ke kulit K dan X-Ray $K\beta$ dihasilkan dari transisi elektron dari kulit M menuju kulit K, seperti gambar berikut:

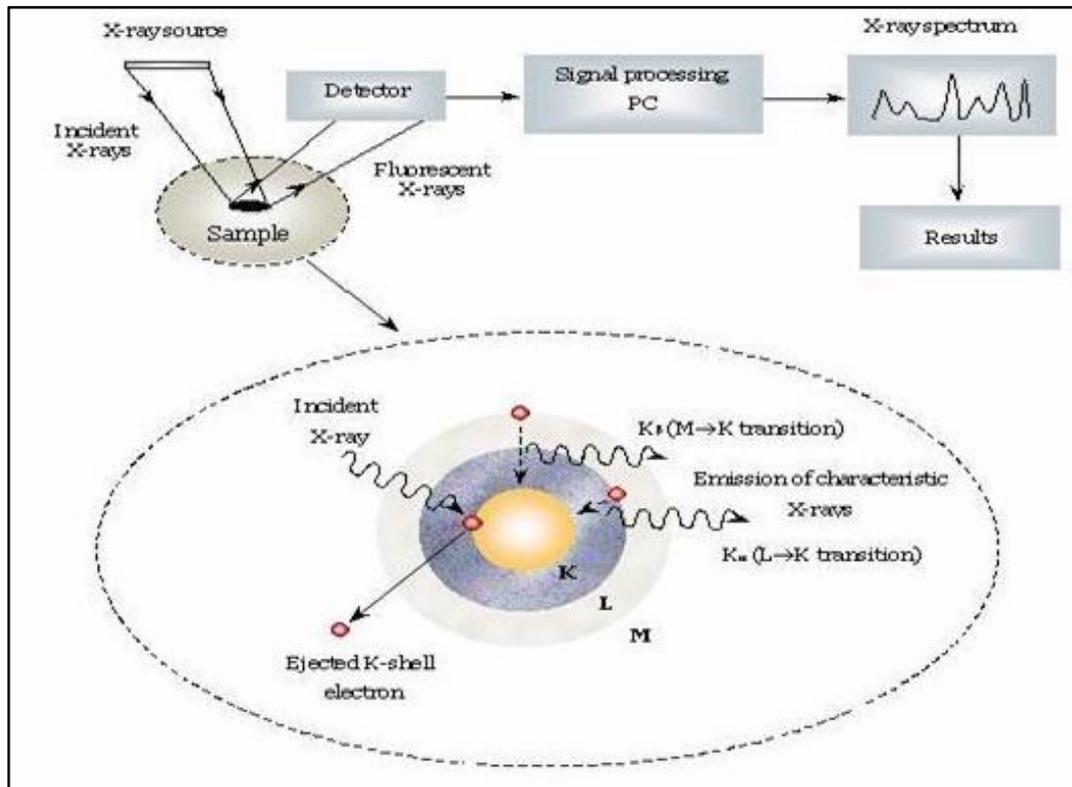


Gambar 2. Terbentuknya K-alpha dan K-Beta (Sumantry, T., 2002)

Teknik analisis *X-Ray Fluoresence* (XRF) menggunakan peralatan spektrometer yang dipancarkan oleh sampel dari penyinaran sinar-X. Sinar-X

yang dianalisis berupa sinar-X karakteristik yang dihasilkan dari tabung sinar-X, sedangkan sampel yang dianalisis dapat berupa sampel padat pejal dan serbuk. Dasar analisis alat *X-Ray Fluoresence* (XRF) adalah pencacahan sinar-X yang dipancarkan oleh suatu unsur akibat pengisian kembali kekosongan elektron pada orbital yang lebih dekat dengan inti atom (kulit K) oleh elektron yang terletak pada orbital yang lebih luar. Kekosongan elektron ini terjadi karena eksitasi elektron. Pengisian elektron pada orbital K akan menghasilkan spektrum sinar-X deret K, pengisian elektron pada orbital berikutnya menghasilkan spektrum sinar-X deret L, deret M, deret N dan seterusnya (Sumantry, 2002: 281).

Spektrum sinar-X yang dihasilkan selama proses di atas menunjukkan puncak (*peak*) karakteristik yang merupakan landasan dari uji kualitatif untuk unsur-unsur yang ada pada sampel. Sinar-X karakteristik diberi tanda sebagai K, L, M, N dan seterusnya untuk menunjukkan dari kulit mana unsur itu berasal. Penunjukkan alpha (α), beta (β) dan gamma (γ) dibuat untuk memberi tanda sinar-X itu berasal dari transisi elektron dari kulit yang lebih tinggi. Oleh karena itu, $K\alpha$ adalah sinar-X yang dihasilkan dari transisi elektron kulit L ke kulit K (Sumantry, 2002: 281).



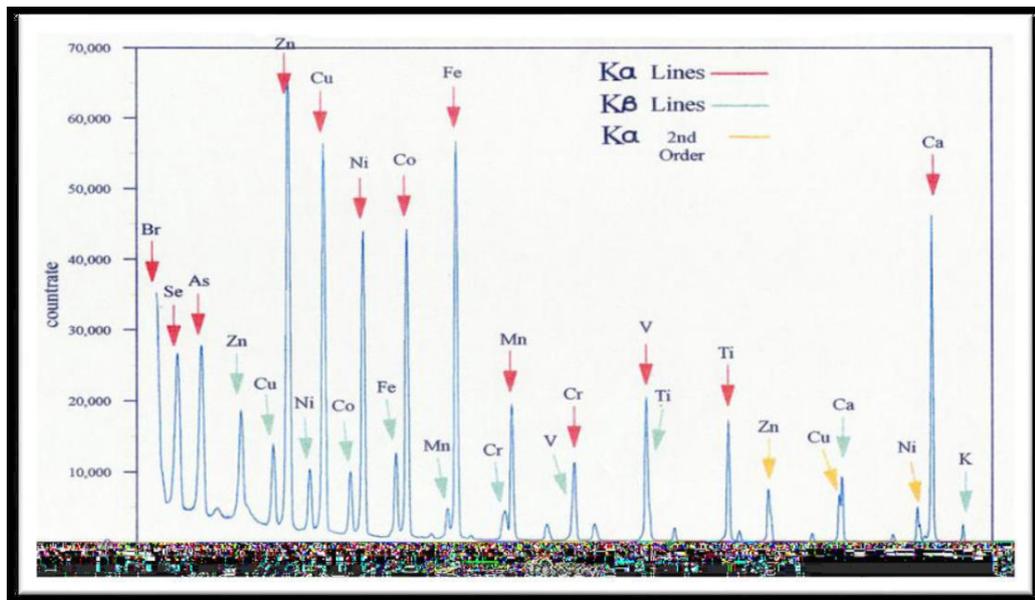
Gambar 3. Prinsip kerja alat *X-Ray Fluorescence* (XRF) (Sumantry, T., 2002)

Masrukan dkk. (2007: 3) menyatakan bahwa unsur yang dapat dianalisis adalah unsur yang mempunyai nomor atom rendah seperti unsur karbon (C) sampai dengan unsur yang mempunyai nomor atom tinggi seperti uranium (U).

Unsur C mempunyai sinar-X transisi ke kulit K sebesar 0,28 keV sedangkan sinar-X karakteristik dari kulit L pada atom U sebesar 13,61 keV (Masrukan & Rosika, 2008: 3).

Oleh karena energi setiap atom terdiri dari energi pada kulit atom K, L, M dan seterusnya maka energi yang diambil untuk analisis adalah energi sinar-X yang dihasilkan oleh salah satu kulit atom tersebut. Pada pengoperasian alat *X-Ray Fluorescence* (XRF) diperoleh bahwa rentang energi

sinar-X pada peralatan adalah 5 – 50 keV. Oleh karena itu, untuk menganalisis atom U harus diambil pada energi kulit L (13,61 keV) karena energi kulit K sangat besar (97,13 keV) dan berada di luar kemampuan alat. Analisis menggunakan alat *X-Ray Fluorescence (XRF)* akan menghasilkan suatu spektrum yang menunjukkan kandungan unsur-unsur pada tingkat energi tertentu sesuai dengan orbital yang mengalami kekosongan elektron dan pengisian elektron dari orbital selanjutnya seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah (Masrukan & Rosika, 2008: 3).



Gambar 4. Kandungan unsur-unsur pada tingkat energi tertentu (Sumantry, T., 2002)

Data hasil pengukuran XRF berupa sumber spektrum dua dimensi dengan sumbu-x adalah energi (keV) sedangkan sumbu-y adalah cacahan/intensitas sinar-x yang dipancarkan oleh setiap unsur. Setiap unsur menghasilkan spektrum dengan energi yang spesifik. Energi yang dibutuhkan untuk mengeluarkan inti elektron dan juga energi yang dipancarkan oleh

transisi merupakan karakteristik dari setiap unsur. Transisi dari kulit elektron L yang mengisi kulit K menghasilkan transisi, sedangkan kulit elektron M yang mengisi kulit K menghasilkan transisi. XRF sangat cocok untuk menentukan unsur seperti Si, Al, Mg, Ca, Fe, K, Na, Ti, S, dan P dalam batuan *siliciclastik* dan juga untuk unsur metal seperti Pb, Zn, Cd, dan Mn (Tucker & Hardy, 1991: 36).

K. Kerangka Berpikir

Penelitian ini terfokus pada pengidentifikasian unsur kimia yang berpengaruh pada nilai kekerasan suatu logam baja. Logam baja yang diuji terdiri dari tiga jenis yakni *stainless steel*, *alloy steel*, dan *superduplex steel*. Sampel yang digunakan untuk mewakili dari ketiga jenis baja tersebut adalah logam tipe SS304, SS310, Low Alloy, dan 17-4PH. Keempat logam tersebut diberikan perlakuan yang sama sebelum pengujian yakni pengamplasan pada permukaan logam hingga permukaan sampel menjadi halus agar permukaannya rata dan tidak mempengaruhi hasil akhir pada pengukuran. Uji kekerasan rockwell merupakan pengujian lekukan, sehingga saat dilakukan pengukuran pada permukaan sampel yang tidak rata akan mempengaruhi nilai akhir pada hasil pengujian. Syarat spesimen untuk uji kekerasan yakni permukaannya harus bersih dan rata.

Sampel diuji nilai kekerasannya menggunakan *Rockwell Hardtest Machine* yang bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan masing-masing logam. Hasil keluaran dari pengujian kekerasan metode *Rockwell* berupa satuan HRb dan HRC. Syarat perbandingan nilai kekerasan akan terpenuhi

apabila satuan HRb dan HRc dikonversikan ke dalam bentuk skala yang sama, sehingga disetarakan dalam bentuk satuan *Brinell*. Sampel yang telah diketahui nilai kekerasannya kemudian diidentifikasi kandungan unsur penyusunnya menggunakan *X-Ray Fluorescence (XRF)* dan *Optical Emission Spectroscopy (OES)*. Pengidentifikasian unsur menggunakan OES digunakan untuk mengetahui komposisi dan persentase unsur di dalam logam secara lengkap, termasuk unsur karbon yang tidak dapat terbaca oleh alat uji XRF. Pengidentifikasian unsur menggunakan XRF digunakan sebagai pembanding serta sebagai pelengkap komposisi unsur yang tidak terdeteksi oleh OES.

Analisis yang pertama dilakukan adalah dengan mengurutkan tingkat kekerasan dari keempat sampel hasil pengujian. Nilai dipresentasikan melalui rata-rata keseluruhan pengukuran dan diplotkan pada grafik batang. Ralat nilai pengujian ditentukan menggunakan ketidakpastian pengukuran berulang. Analisis yang kedua adalah dengan mengidentifikasi hasil pengujian persentase unsur oleh XRF dan OES dengan membandingkan serta mengurutkan nilai persentase setiap unsur yang sama dari keempat sampel. Jenis unsur yang memiliki urutan persentase sesuai dengan urutan tingkat kekerasan lalu diidentifikasi, dengan melakukan plot grafik batang, dihitung nilai rata-ratanya, serta ralat nilai pengujian ditentukan dengan menggunakan ketidakpastian pengukuran berulang.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis, Waktu dan Tempat Penelitian

1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah eksperimen, yaitu jenis penelitian yang digunakan untuk mengumpulkan data primer di laboratorium dan menggunakan perlakuan (*treatment*). Penelitian eksperimen dapat diartikan sebagai metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang dikendalikan (Sugiyono, 2010: 107).

2. Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan selama lima bulan dimulai pada bulan November 2017 s.d Maret 2018

3. Tempat Penelitian

Tempat pelaksanaan penelitian mulai dari pemilihan bahan material logam baja, pemotongan baja, pengamplasan atau penghalusan permukaan, uji persentase unsur yang terkandung pada material logam baja menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* dan *X-Ray Fluorescence*, dan pengambilan data kekerasan logam (*Rockwell Hardness Test*) dilakukan di laboratorium uji mekanik PT Petrokimia, Gresik, Jawa Timur.

B. Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah material logam baja SS304, SS310, Low Alloy dan 17-4PH yang akan diteliti tingkat kekerasannya dan kandungan unsur-unsur penyusunnya.

C. Variabel Penelitian

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

1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis logam yang digunakan yang terdiri dari: SS304, SS310, Low Alloy dan 17-4PH serta tingkat kekerasan pada masing-masing logam tersebut.

Tujuan dari pengujian kekerasan adalah untuk mengetahui tingkatan nilai kekerasan spesimen. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan *Rockwell* merk Shimadzu.

2. Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian adalah jenis skala yang digunakan pada mesin Rockwell dan jarak pengujian tiap titik pada logam uji sebesar 0.5 cm.

3. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah persentase dan jenis unsur pada logam SS304, SS310, Low Alloy dan 17-4PH yang mempengaruhi tingkat kekerasannya.

Tujuan dari pengujian persentase unsur material yang terkandung adalah untuk mengetahui nilai masing-masing persentase unsur penyusun logam baja yang diujikan. Pengujian persentase unsur menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *Optical Emission Spectroscopy* (OES) membuat semakin akurat unsur-unsur apa saja yang terkandung dalam material logam baja yang diujikan.

D. Bahan dan Alat Penelitian

1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Spesimen logam SS304, SS310, Low Alloy dan 17-4PH yang berbentuk lempengan berasal dari PT Petrokimia, Gresik, Jawa Timur.
- b. Ampelas dengan grade 200 sampai 1500.
- c. Autosol.

2. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. *Rockwell Hardness Test Machine* yang berfungsi sebagai mesin uji kekerasan pada baja.
- b. ASTM petunjuk standar internasional mengenai logam dan alat uji logam.
- c. Satu buah penggaris untuk mengukur jarak tiap pengujian yakni 0.5 cm.

- d. *Arc Met 8000* sebagai alat uji kandungan unsur penyusun logam yang menggunakan prinsip *Optical Emision Spectroscopy*.
- e. *X-Ray Flourescence Niton XL2 GOLDD* sebagai alat uji kandungan unsur penyusun logam dengan penembakan dan karakterisasi sinar X.
- f. Mesin pemotong baja yang digunakan untuk membuat sample logam uji sesuai paduan dalam standar pengujian.
- g. Mesin penghalus baja yang digunakan untuk menghaluskan logam baja dari korosi serta meratakan permukaan sampel.

E. Langkah Penelitian

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, Low Alloy dan 17-4PH sesuai dengan ASTM. Spesimen berbentuk lempengan yang kemudian dihaluskan pada permukaannya.

- b. Spesimen untuk uji kekerasan *Rockwell*

Bahan yang akan uji kekerasannya masih sama yakni logam SS304, SS310, Low Alloy dan 17-4PH. Perlakuan sama pada masing-masing spesimen yakni dengan memberikan jarak yang sama (0.5 cm) pada setiap pengujian kekerasan menggunakan *Rockwell Hardness Test Machine*.

2. Tahap pengujian kekerasan dengan menggunakan *Rockwell*:
 - a. Menyiapkan spesimen berupa baja logam SS304, SS310, Low Alloy dan 17-4PH.
 - b. Kemudian spesimen dihaluskan dengan menggunakan ampelas grade 200 sampai 1500 hingga pada permukaan logam tidak terdapat korosi.
 - c. Membersihkan spesimen.
 - d. Menguji dengan menggunakan *Rockwell Hardness Test Machine* untuk mengetahui tingkat kekerasan pada baja spesimen.
 - e. Sampel diletakkan di meja preparat mesin uji kemudian ditekan.
 - f. Data keluaran muncul pada layar monitor dengan satuan HRb atau HRc.

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 dihaluskan dengan menggunakan ampelas grade 200 sampai 1500 hingga pada permukaan logam tidak terdapat korosi.
 - 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 alat uji XRF menuju pada permukaan logam uji.
Alat uji XRF diarahkan pada permukaan logam kemudian ditembakkan sinar-X.
 - f. Kemudian data muncul pada layar monitor program dengan menampilkan komposisi secara detail.
4. Tahap karakterisasi kandungan unsur kimia pada baja dengan menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES):
- a. Menyiapkan spesimen, spesimen yang digunakan masih sama dengan spesimen sebelumnya.
 - b. Kemudian spesimen dihaluskan dengan menggunakan ampelas grade 200 sampai 1500 hingga pada permukaan logam tidak terdapat korosi.
 - c. Membersihkan spesimen.
 - d. Mengkarakterisasi spesimen dengan alat uji *Arc Met 8000* yang berbasis *Optical Emission Spectroscopy* (OES) untuk mengetahui variasi unsur kimia serta persentase unsur yang terkandung pada baja yang digunakan.
 - e. Sampel diletakkan pada mulut mesin uji dan kemudian dialirkan gas argon. Gas argon berfungsi sebagai pendorong plasma karena argon termasuk gas mulia.
 - f. Kemudian data muncul pada layar monitor.

F. Teknik Analisis Data

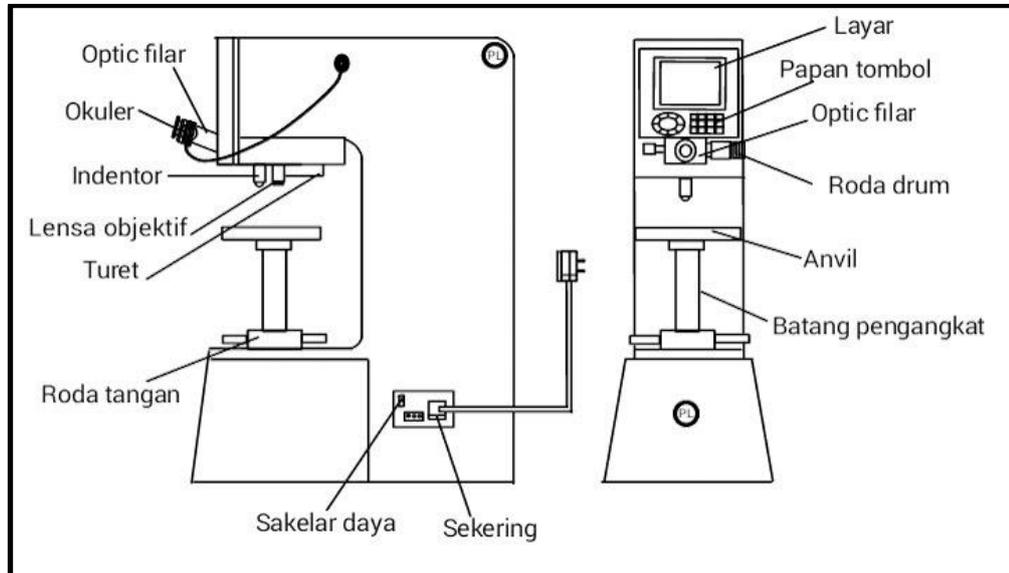
Data keluaran yang diperoleh merupakan data hasil pengujian dengan *Rockwell Hardness Test Machine* dan hasil karakterisasi menggunakan *Niton XL2 GOLDD* yang bekerja berdasarkan prinsip *X-Ray Fluorescence (XRF)* dan *Arc Met 8000* yang menggunakan prinsip *Optical Emission Spectroscopy (OES)*. Hasil uji *Rockwell Hardness Test Machine* adalah berupa nilai kekerasan dengan keluaran satuan *Hardness Rockwell type b (HRb)* dan *Hardness Rockwell type c (HRc)*, kemudian disetarakan satuannya dengan mengkonversikan hasil satuan HRb dan HRc kedalam satuan *Brinell* menggunakan tabel penyetara satuan uji kekerasan seperti pada lampiran 1. Data keluaran hasil uji komposisi unsur menggunakan *X-Ray Fluorescence (XRF) Niton XL2 GOLDD* adalah berupa spektrum sebagai fungsi cacah dengan energi intensitas kandungan atom dan tabel kandungan unsur penyusun logam uji dengan kandungan intensitas kandungannya. *Arc Met 8000* adalah tabel kandungan unsur penyusun logam uji. Data keluaran hasil uji komposisi unsur menggunakan *Optical Emission Spectroscopy (OES) Arc Met 8000* adalah berupa tabel variasi unsur dan komposisi kandungannya.

Metode analisis yang dilakukan adalah dengan mengurutkan tingkat kekerasan dari keempat sampel hasil pengujian. Nilai dipresentasikan melalui rata-rata keseluruhan pengukuran dan diplotkan pada grafik batang. Ralat nilai pengujian ditentukan menggunakan ketidakpastian pengukuran berulang. Analisis selanjutnya adalah dengan mengidentifikasi hasil pengujian

persentase unsur menggunakan XRF dan OES dengan membandingkan serta mengurutkan nilai persentase setiap unsur yang sama dari keempat sampel. Kemudian mencari referensi dan jurnal-jurnal nasional tentang pengaruh jenis unsur dan persentasenya terhadap tingkat kekerasan logam. Menentukan jenis unsur yang memiliki urutan persentase sesuai dengan urutan tingkat kekerasan. Kemudian diplot grafik batang dan ditentukan nilai rata-ratanya serta ralat nilai pengujian dengan menggunakan ketidakpastian pengukuran berulang.

G. Skema Alat

a. Alat uji Rockwell



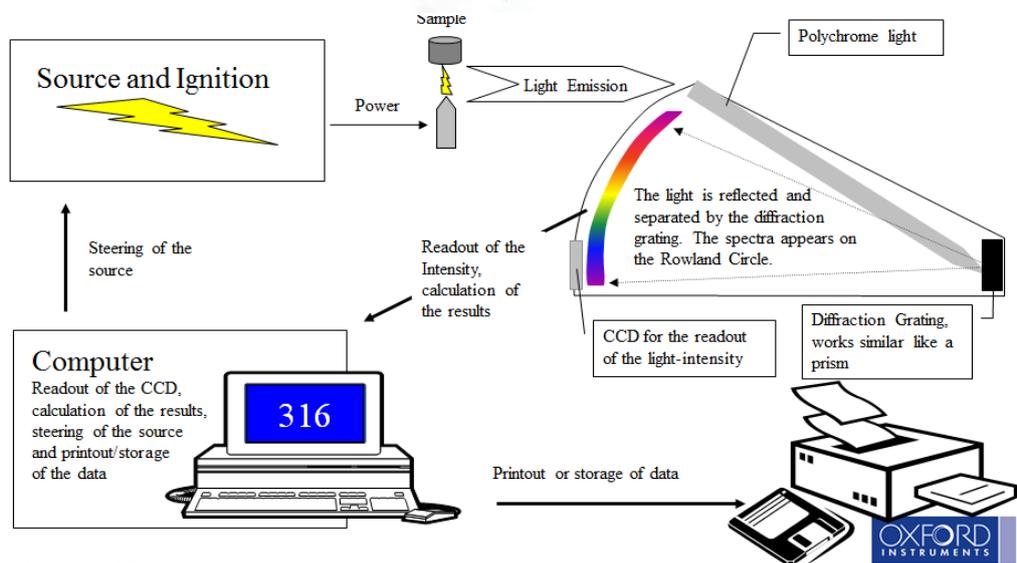
Gambar 5. Skema alat uji kekerasan *Rockwell*

b. Alat uji XRF



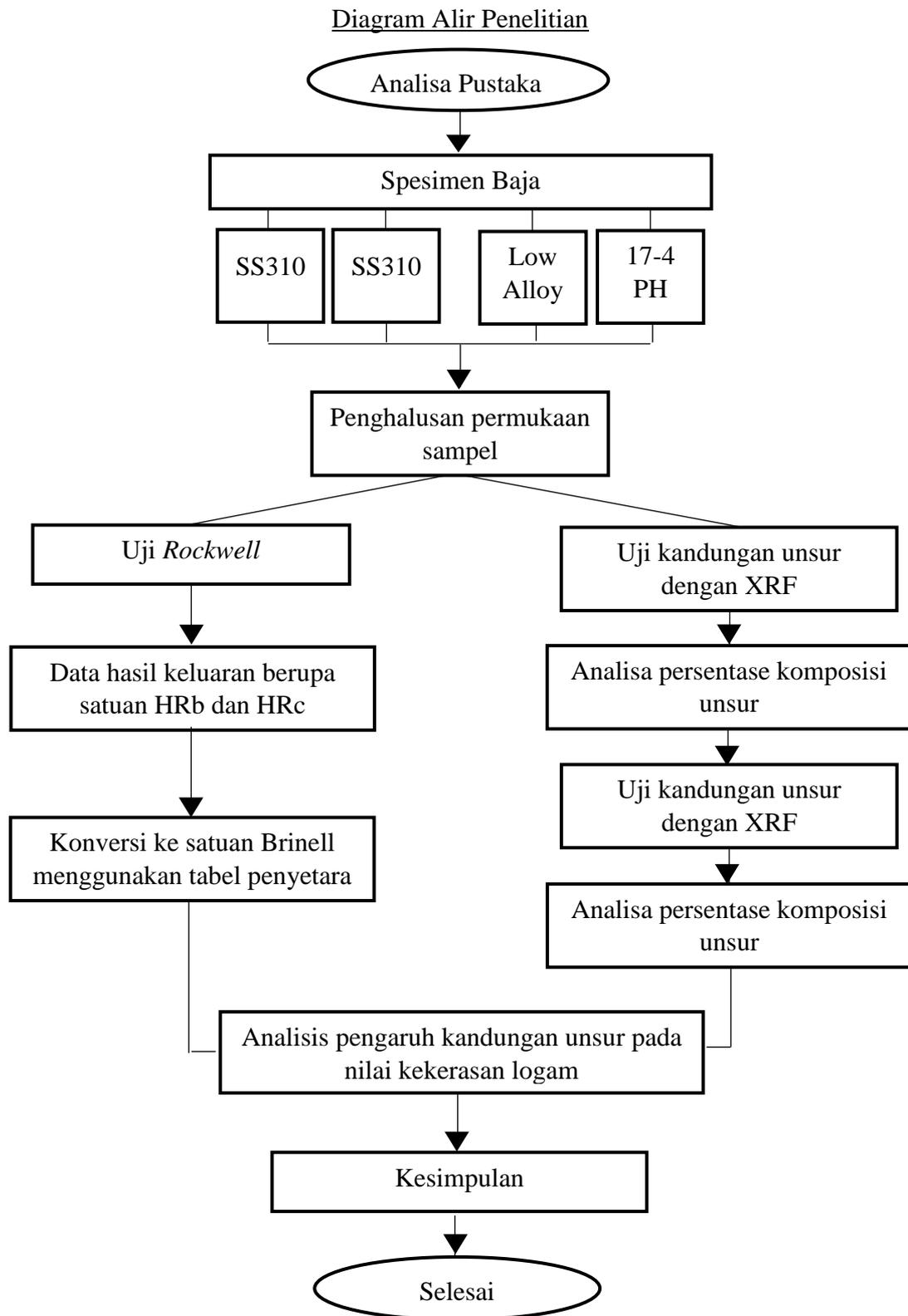
Gambar 6. Skema alat uji komposisi unsur *X-Ray Fluorescence*

c. Alat uji OES



Gambar 7. Skema alat uji komposisi unsur *Optical Emission Spectroscopy*

H. Diagram Alir Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Penelitian

1. Data hasil Pengujian Kekerasan menggunakan *Rockwell*

Pengujian dilakukan di PT Petrokimia Gresik, Jawa Timur, dengan menggunakan sampel sebanyak 4 buah sampel. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah SS304, SS310, Low Alloy dan 17-4PH dengan menggunakan alat penguji kekerasan *Rockwell Hardness Test Machine*. Setiap sampel diuji menggunakan *Rockwell Hardness Test* sebanyak 10 kali sehingga menghasilkan data harga kekerasan seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Data Pengukuran Sampel dalam Uji Kekerasan

Pengujian Logam	Hasil pengujian logam menggunakan Rockwell			
	SS304	SS310	Low Alloy	17-4 PH
Uji 1	83,74 HRb	71,82 HRb	75,71 HRb	39,31 HRc
Uji 2	84,47 HRb	71,09 HRb	77,65 HRb	39,74 HRc
Uji 3	86,97 HRb	73,50 HRb	77,92 HRb	39,15 HRc
Uji 4	84,12 HRb	70,97 HRb	78,31 HRb	38,02 HRc
Uji 5	82,95 HRb	73,17 HRb	76,77 HRb	39,78 HRc
Uji 6	81,69 HRb	71,31 HRb	78,02 HRb	40,61 HRc
Uji 7	83,35 HRb	70,35 HRb	79,58 HRb	41,40 HRc
Uji 8	84,23 HRb	69,73 HRb	78,94 HRb	40,19 HRc
Uji 9	82,37 HRb	69,18 HRb	79,49 HRb	40,33 HRc
Uji 10	82,91 HRb	69,82 HRb	78,64 HRb	41,28 HRc
$X_0 \pm \Delta X$	(84 ± 1) HRb	(71 ± 1) HRb	(78 ± 1) HRb	(40 ± 1) HRc

Hasil eksperimen pengujian kekerasan diperoleh nilai rata-rata kekerasan pada setiap spesimen. Pada spesimen logam SS304 memiliki rata-rata kekerasan sebesar (84 ± 1) HRb, pada spesimen logam baja SS310 nilai rata-rata kekerasannya sebesar (71 ± 1) HRb, pada logam Low Alloy tingkat kekerasannya sebesar (78 ± 1) HRb, dan untuk logam 17-4PH nilai kekerasannya adalah sebesar (40 ± 1) HRC.

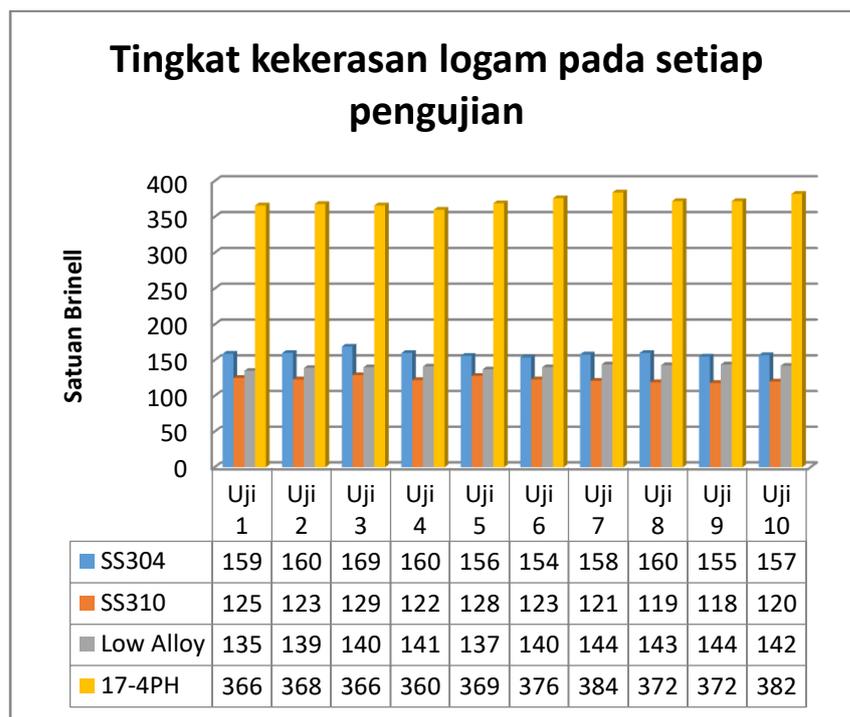
Data pengukuran tingkat kekerasan pada logam baja memiliki nilai satuan yang berbeda, yakni satuan HRb dan HRC. Perbandingan hasil uji antara sampel satu dengan yang lain dapat dilakukan apabila nilai skala hasil pengujian memiliki satuan yang sama. Hasil penelitian ditunjukkan dengan satuan *Rockwell*, sehingga satuan *Hardness Rockwell* tersebut dikonversikan terlebih dahulu menjadi satuan *Brinell*.

Tabel 5. Penyetaraan Skala HRb dan HRC Menggunakan Satuan *Brinell*

Pengujian Logam	Skala Penyetaraan dalam satuan <i>Brinell</i>			
	SS304 (Satuan <i>Brinell</i>)	SS310 (Satuan <i>Brinell</i>)	Low Alloy (Satuan <i>Brinell</i>)	17-4PH (Satuan <i>Brinell</i>)
Uji 1	159	125	135	366
Uji 2	160	123	139	368
Uji 3	169	129	140	366
Uji 4	160	122	141	360
Uji 5	156	128	137	369
Uji 6	154	123	140	376
Uji 7	158	121	144	384
Uji 8	160	119	143	372
Uji 9	155	118	144	372
Uji 10	157	120	142	382
X₀ ± ΔX	(159 ± 4)	(123 ± 3)	(141 ± 3)	(372 ± 7)

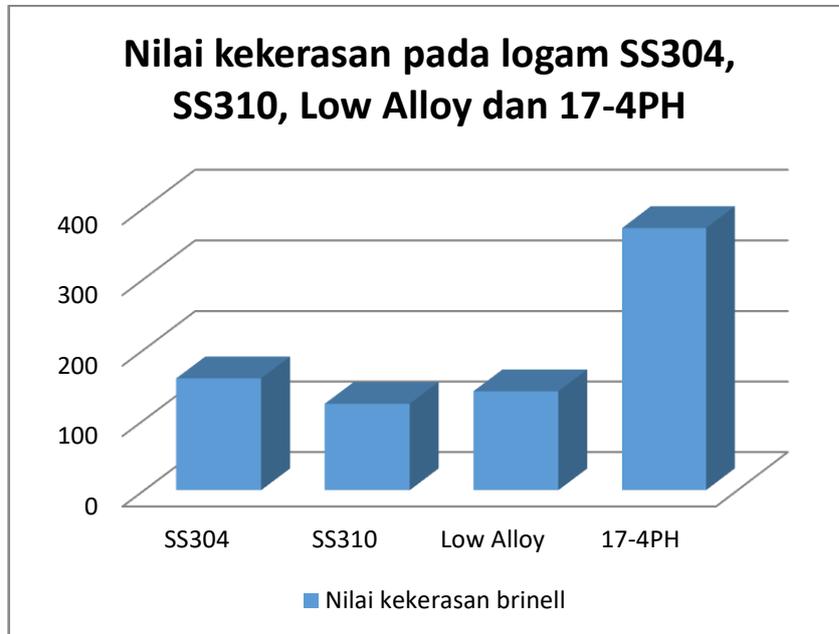
Penyetaraan skala dengan menggunakan satuan *Brinell* kemudian disajikan dalam bentuk gambar grafik batang. sebagai perbandingan nilai kekerasan pada logam sampel. Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai kekerasan logam SS304 adalah (159 ± 1) satuan *Brinell*, SS310 (123 ± 1) satuan *Brinell*, Low Alloy (141 ± 1) satuan *Brinell*, dan 17-4PH memiliki nilai kekerasan (372 ± 2) satuan *Brinell*.

Tingkat kekerasan logam pada setiap sampel menghasilkan nilai yang berbeda-beda. Data pengujian yang telah disetarakan skala satuannya (pada tabel 4) kemudian dipresentasikan dalam bentuk grafik oleh gambar 8 sebagai perbandingan setiap pengujian logam yang dilakukan sebanyak 10 kali.



Gambar 8. Grafik Tingkat Kekerasan Logam pada Masing-masing Pengujian.

Nilai rata-rata dari penyetaraan menggunakan skala Brinell kemudian dipresentasikan oleh gambar 9.



Gambar 9. Grafik Nilai Kekerasan Logam SS304, SS310, Low Alloy, dan 17-4PH

Hasil dari penyetaraan nilai kekerasan dari satuan *Rockwell* (HRb dan HRc) ke dalam satuan *Brinell* diperoleh nilai rata-rata pada masing-masing logam baja. Logam baja 17-4PH diperoleh hasil kekerasan paling tinggi yakni 372 satuan *Brinell*, Logam baja SS304 nilai kekerasannya sebesar 159 satuan *Brinell*, logam baja Low Alloy diperoleh nilai kekerasan 141 satuan *Brinell*, dan baja SS310 nilai kekerasan logam paling kecil yakni 123 satuan *Brinell*.

Berdasarkan hal tersebut, diketahui bahwa hasil penelitian logam yang diuji tanpa dilakukan perlakuan panas dengan variasi jenis logam dan kandungan unsur mengalami perbedaan nilai kekerasan, spesimen SS310 < spesimen SS304, spesimen Low Alloy > spesimen SS310, spesimen 17-4PH > spesimen Low Alloy, spesimen SS304 > spesimen SS310, yang dapat dilihat pada gambar 9.

2. Hasil pengujian komposisi logam menggunakan *X-Ray Fluorescence*

a. Hasil uji komposisi unsur logam SS304 menggunakan XRF

Tabel 6. Data Uji Komposisi Unsur Logam SS304 menggunakan XRF

No	Jenis Unsur	Logam SS304			
		<i>Peak (Count/sec)</i>	<i>Rata-rata (Count/sec)</i>	<i>Persentase Unsur (%)</i>	<i>Rata-rata (%)</i>
1	Ni	58,22	(60 ± 1)	7,57	(7,7 ± 0,1)
		60,88		7,87	
		61,68		7,66	
2	Fe	841,44	(816 ± 30)	70,12	(70,1 ± 0,1)
		780,07		70,24	
		826,80		69,96	
3	Mn	65,07	(69 ± 3)	1,33	(1,32 ± 0,12)
		72,43		1,38	
		70,79		1,24	
4	Cr	306,16	(303 ± 3)	17,94	(17,96 ± 0,11)
		304,62		17,99	
		298,29		17,96	
5	V	2,74	(2,6 ± 0,4)	0,07	(0,10 ± 0,06)
		2,99		0,16	
		2,06		0,11	
6	S	0,34	(0,7 ± 0,3)	0,19	(0,16 ± 0,02)
		1,00		0,16	
		0,66		0,13	
7	Si	0,34	(0,7 ± 0,3)	2,19	(2,1 ± 0,3)
		1,00		1,65	
		0,66		2,33	
8	P	1,03	(0,8 ± 0,2)	0,13	(0,07 ± 0,05)
		0,66		0,00	
		0,66		0,08	
9	Co	143,14	(136 ± 6)	0,38	(0,41 ± 0,03)
		129,24		0,45	
		135,40		0,38	
10	Mo	11,64	(10,5 ± 0,8)	0,07	(0,06 ± 0,01)
		9,97		0,04	
		9,97		0,07	

Berdasarkan hasil data tabel 6 menjelaskan bahwa pada baja SS304 terdapat 10 unsur dengan nilai *peak* dan harga persentase kandungan yang dapat dideteksi oleh alat uji. Sepuluh unsur tersebut adalah: nikel (Ni) memiliki persentase unsur sebesar $(7,7 \pm 0,1)\%$ dan *peak* (60 ± 1) *Count/sec*, besi (Fe) memiliki persentase unsur sebesar $(70,1 \pm 0,1)\%$ dengan *peak* (816 ± 30) *Count/sec*, mangan (Mn) memiliki persentase unsur sebesar $(1,32 \pm 0,12)\%$ dan *peak* (69 ± 3) *Count/sec*, krom (Cr) memiliki persentase unsur sebesar $(17,96 \pm 0,11)\%$ dan *peak* (303 ± 3) *Count/sec*, vanadium (V) memiliki persentase unsur sebesar $(0,10 \pm 0,06)\%$ dan *peak* $(2,6 \pm 0,4)$ *Count/sec*, sulfur (S) persentase unsur sebesar $(0,16 \pm 0,02)\%$ dan *peak* $(0,7 \pm 0,3)$ *Count/sec*, silikon (Si) memiliki persentase unsur sebesar $(2,1 \pm 0,3)\%$ dan *peak* $(0,7 \pm 0,3)$ *Count/sec*, fosfor (P) persentase unsur sebesar $(0,07 \pm 0,05)\%$ dan *peak* $(0,8 \pm 0,2)$ *Count/sec*, kobalt (Co) memiliki persentase unsur sebesar $(0,41 \pm 0,03)\%$ dengan *peak* (136 ± 6) *Count/sec*, dan molibdenum (Mo) memiliki persentase unsur sangat kecil yakni sebesar $(0,06 \pm 0,01)\%$ dengan *peak* $(10,5 \pm 0,8)$ *Count/sec*.

b. Hasil uji komposisi unsur logam SS310 menggunakan XRF

Pengujian komposisi unsur logam SS310 menggunakan alat uji *X-Ray Fluorescence* kemudian pada hasil persentase masing-masing unsur. Berikut data hasil pengujian komposisi unsur logam SS310 menggunakan XRF dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Data Uji Komposisi Unsur Logam SS310 menggunakan XRF

No	Jenis Unsur	Logam SS310			
		<i>Peak</i> (<i>Count/sec</i>)	Rata-rata (<i>Count/sec</i>)	Persentase Unsur (%)	Rata-rata (%)
1	Mo	11,30	(13 ± 1)	0,12	(0,110 ± 0,005)
		13,65		0,11	
2	Ni	184,59	(178 ± 7)	19,53	(19,33 ± 0,2)
		170,31		19,13	
3	Fe	599,32	(592 ± 7)	53,69	(53,70 ± 0,02)
		584,64		53,72	
4	Mn	80,48	(83 ± 3)	1,47	(1,51 ± 0,04)
		85,67		1,55	
5	Cr	366,78	(360 ± 7)	23,92	(23,89 ± 0,03)
		353,58		23,87	
6	V	4,11	(3,4 ± 0,7)	0,18	(0,16 ± 0,02)
		2,73		0,14	
7	Si	1,03	(0,9 ± 0,2)	1,09	(1,07 ± 0,03)
		0,68		1,04	

Berdasarkan hasil pada tabel 7 dijelaskan bahwa kandungan baja SS310 di dalamnya terdapat 7 unsur dengan nilai *peak* dan harga persentase kandungan yang cukup tinggi. Persentase dan *peak* dari ketujuh unsur tersebut adalah: persentase molibdenum (Mo) sebesar (0,110 ± 0,005)% dengan *peak* (13 ± 1) *Count/sec*, persentase nikel (Ni) sebesar (19,33 ± 0,2)% dengan *peak* (178 ± 7) *Count/sec*, persentase besi (Fe) sebesar (53,70 ± 0,02)% dengan *peak* (592 ± 7) *Count/sec*, persentase mangan (Mn) sebesar (1,51 ± 0,04)% dengan *peak* (83 ± 3) *Count/sec*, persentase krom (Cr) sebesar (23,89 ± 0,03)% dengan *peak* (360 ± 7) *Count/sec*, persentase vanadium (V) sebesar (0,16 ± 0,02)%

dengan *peak* ($3,4 \pm 0,7$) *Count/sec*, dan silikon (Si) memiliki persentase sebesar ($1,07 \pm 0,03$)% dengan nilai *peak* ($0,9 \pm 0,2$) *Count/sec*.

c. Hasil uji komposisi unsur logam Low Alloy menggunakan XRF

Baja low alloy tergolong baja dengan paduan rendah. Pengujian komposisi unsur logam Low Alloy dilakukan sebanyak tiga kali dengan menggunakan alat uji *X-Ray Fluorescence* kemudian direrata pada hasil persentase masing-masing unsur. Berikut data hasil pengujian komposisi unsur logam Low Alloy menggunakan XRF dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Data Uji Komposisi Unsur Logam Low Alloy menggunakan XRF

No	Jenis Unsur	Logam Low Alloy			
		<i>Peak</i> (<i>Counts/sec</i>)	Rata-rata (<i>Counts/sec</i>)	Persentase Unsur (%)	Rata-rata (%)
1	Mo	22,93	(23 ± 1)	0,46	(0,49 ± 0,02)
		23,45		0,51	
		21,31		0,50	
2	Ni	16,24	(26 ± 10)	0,00	(0 ± 0)
		40,27		0,00	
		21,31		0,00	
3	Fe	1942,04	(1758 ± 200)	98,15	(98,1 ± 0,1)
		1912,39		97,94	
		1418,03		98,13	
4	Mn	13,38	(13 ± 1)	0,47	(0,47 ± 0,06)
		13,72		0,54	
		11,48		0,39	
5	Cr	22,61	(24 ± 1)	0,92	(0,95 ± 0,03)
		24,34		0,93	
		24,59		0,98	

Berdasarkan hasil pada tabel 8 dijelaskan bahwa terdapat 7 unsur pada baja Low Alloy dengan nilai *peak* dan harga persentase kandungan

yang cukup tinggi. Tujuh unsur tersebut adalah: molibdenum (Mo) memiliki nilai persentase unsur sebesar $(0,49 \pm 0,02)\%$ dengan *peak* (23 ± 1) *Counts/sec*, nikel (Ni) memiliki nilai persentase unsur sebesar $(0 \pm 0)\%$ dengan *peak* (26 ± 10) *Counts/sec*, besi (Fe) memiliki nilai persentase unsur paling besar yakni $(98,1 \pm 0,1)\%$ dengan *peak* (1758 ± 200) *Counts/sec*, mangan (Mn) memiliki nilai persentase unsur sebesar $(0,47 \pm 0,06)\%$ dengan *peak* (13 ± 1) *Counts/sec*, dan krom (Cr) memiliki nilai persentase unsur sebesar $(0,95 \pm 0,03)\%$ dengan *peak* (24 ± 1) *Counts/sec*.

d. Hasil uji komposisi unsur logam 17-4PH menggunakan XRF

Pengujian komposisi unsur logam baja 17-4PH dilakukan sebanyak tiga kali dengan menggunakan alat uji *X-Ray Fluorescence* kemudian direrata pada hasil persentase masing-masing unsur. Berikut data hasil pengujian komposisi unsur logam 17-4PH menggunakan XRF dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Data Uji Komposisi Unsur Logam 17-4PH menggunakan XRF

No	Jenis Unsur	Logam 17-4PH			
		<i>Peak</i> (Counts/sec)	Rata-rata (Counts/sec)	Persentase Unsur (%)	Rata-rata (%)
1	Mo	14,37	(15,0 ± 0,8)	0,28	(0,27 ± 0,01)
		14,38		0,25	
		16,15		0,28	
2	Nb	11,64	(10,9 ± 0,7)	0,25	(0,240 ± 0,008)
		10,00		0,23	
		11,34		0,24	
3	Cu	32,53	(31 ± 2)	3,37	(3,49 ± 0,09)
		28,75		3,52	
		31,62		3,59	
4	Ni	28,77	(29 ± 1)	4,03	(4,07 ± 0,03)
		30,63		4,09	
		27,15		4,09	
5	Fe	866,10	(863 ± 30)	74,86	(75,5 ± 0,4)
		825,00		75,89	
		898,97		75,60	
6	Mn	50,34	(50 ± 2)	0,55	(0,59 ± 0,03)
		48,13		0,59	
		52,92		0,63	
7	Cr	245,89	(248 ± 8)	15,52	(15,4 ± 0,1)
		240,00		15,27	
		258,42		15,36	
8	V	3,08	(3,3 ± 0,3)	0,15	(0,150 ± 0,009)
		3,13		0,15	
		3,78		0,13	
9	Ti	1,37	(1,4 ± 0,3)	0,14	(0,10 ± 0,03)
		1,88		0,09	
		1,03		0,08	

Berdasarkan hasil pada tabel 9 dijelaskan bahwa pada baja 17-4PH terdapat 9 unsur dengan nilai *peak* dan harga persentase kandungan yang cukup tinggi. Persentase dan *peak* pada kesembilan unsur tersebut

adalah: persentase unsur molibdeum (Mo) sebesar $(0,27 \pm 0,01)\%$ dengan *peak* $(15,0 \pm 0,8)$ *Counts/sec*, persentase niobium (Nb) sebesar $(0,240 \pm 0,008)\%$ dengan *peak* $(10,9 \pm 0,7)$ *Counts/sec*, persentase unsur tembaga (Cu) sebesar $(3,49 \pm 0,09)\%$ dengan *peak* (31 ± 2) *Counts/sec*, persentase unsur nikel (Ni) sebesar $(4,07 \pm 0,03)\%$ dengan nilai *peak* (29 ± 1) *Counts/sec*, persentase unsur besi (Fe) sebesar $(75,5 \pm 0,4)\%$ dengan *peak* (863 ± 30) *Counts/sec*, persentase unsur mangan (Mn) sebesar $(0,59 \pm 0,03)\%$ dengan *peak* (50 ± 2) *Counts/sec*, persentase unsur krom (Cr) sebesar $(15,4 \pm 0,1)\%$ dengan *peak* (248 ± 8) *Counts/sec*, persentase unsur vanadium $(0,150 \pm 0,009)\%$ dengan nilai *peak* $(3,3 \pm 0,3)$ *Counts/sec*, dan persentase unsur titanium (Ti) sebesar $(0,10 \pm 0,03)\%$ dengan *peak* $(1,4 \pm 0,3)$ *Counts/sec*.

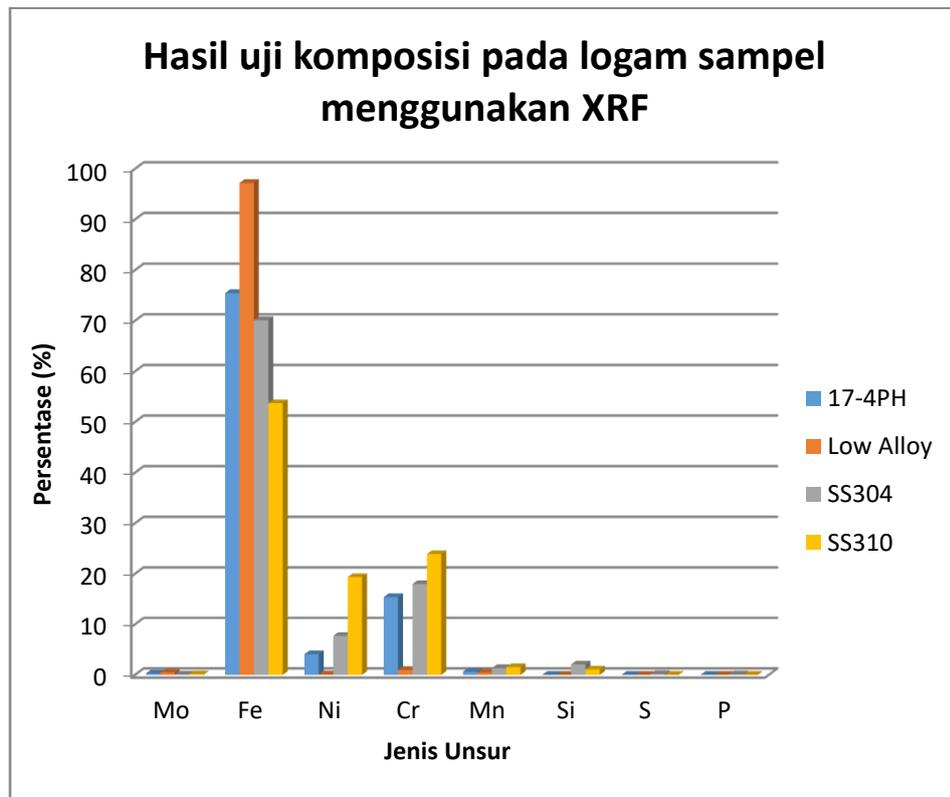
Keempat logam yang diuji dengan menggunakan XRF menghasilkan jenis unsur yang berbeda-beda, sehingga diambil delapan jenis unsur yang sama sebagai pembanding harga persentase masing-masing unsur pada keempat logam sampel.

Berikut adalah data jenis logam dan komposisi kandungan unsur yang diuji dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Data Logam dan Komposisi Unsur Menggunakan Uji XRF

Jenis Unsur	Persentase dalam logam (%)			
	17-4PH	Low Alloy	SS304	SS310
Mo	0,27 ± 0,01	0,49 ± 0,02	0,06 ± 0,01	0,11 ± 0,005
Fe	75,5 ± 0,4	98,1 ± 0,1	70,1 ± 0,1	53,70 ± 0,02
Ni	4,07 ± 0,03	0,00 ± 0	7,7 ± 0,1	19,33 ± 0,2
Cr	15,4 ± 0,1	0,95 ± 0,03	17,96 ± 0,02	23,89 ± 0,03
Mn	0,59 ± 0,03	0,47 ± 0,06	1,32 ± 0,06	1,51 ± 0,04
Si	0,00 ± 0	0,00 ± 0	2,1 ± 0,3	1,07 ± 0,03
S	0,00 ± 0	0,00 ± 0	0,16 ± 0,03	0,00 ± 0
P	0,00 ± 0	0,00 ± 0	0,07 ± 0,05	0,00 ± 0

Data logam dan komposisi unsur menggunakan uji XRF kemudian disimpulkan dalam bentuk grafik batang. Grafik hasil uji komposisi pada logam sampel menggunakan XRF dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hasil Uji Komposisi pada Logam SS304, SS310, Low Alloy, dan 17-4PH dengan Menggunakan XRF.

Grafik pada gambar 10 menjelaskan bahwa unsur yang terdeteksi oleh alat uji XRF adalah molibdenum (Mo), besi (Fe), nikel (Ni), krom (Cr), mangan (Mn), silikon (Si), sulfur (S), dan pospor (P). Unsur yang memiliki persentase terbesar adalah unsur besi (Fe). Hasil uji unsur yang terdeteksi oleh alat XRF dapat diketahui bahwa logam hasil pengujian mempunyai kandungan unsur seperti yang disebutkan diatas, dengan perbandingan antara satu logam uji dengan logam uji yang lain adalah persentase kandungan unsurnya. Setiap memproduksi logam baja harus diperhatikan kandungan persentasenya karena kandungan persentase mempengaruhi sifat dan jenis logam. Presentase kandungan unsur setiap logam harus juga sesuai dengan ASTM (*American Standard Testing and Metallurgy*).

3. Hasil pengujian komposisi logam menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES)

a. Hasil uji persentase unsur menggunakan OES pada logam SS304

Logam SS304 merupakan logam *stainless steel* yang belum diketahui komposisi unsurnya jika diuji dengan menggunakan *Optical Emission Spectroscopy*. Pengujian komposisi dilakukan sebanyak 5 kali dan menarik rerata dari kelima hasil data. Data hasil uji persentase unsur logam SS304 menggunakan OES dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Data Uji Komposisi Unsur Logam SS304 Menggunakan OES

<i>Measurement name : SS304 Persentase unsur dalam logam (%)</i>							
<i>Element</i>	SS304 .4 (%)	SS304 .3 (%)	SS304 .2 (%)	SS304 .1 (%)	SS304 .0 (%)	Rata-rata (X) %	X ± ΔX (%)
Fe	70,46	71,18	71,07	70,53	68,74	70.396	(70,4 ± 0,9)
C	0,050	0,109	0,095	0,102	(0,531)	0.1774	(0,2 ± 0,1)
Si	0,388	0,585	0,545	0,508	1,100	0.6252	(0,6 ± 0,2)
Mn	1,598	1,372	1,412	1,562	1,824	1.5536	(1,6 ± 0,2)
Cr	19,39	18,86	19,13	19,66	19,85	19.378	(19,4 ± 0,4)
Ni	6,703	7,016	7,069	6,816	7,259	6.9726	(7,0 ± 0,2)
Mo	0,011	0,130	0,085	0,047	0,217	0.098	(0,10 ± 0,07)
Cu	0,039	0,037	0,035	0,025	0,007	0.0286	(0,03 ± 0,01)
Ti	0,009	0,011	0,012	0,013	0,024	0.0138	(0,014 ± 0,005)
Nb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	(0 ± 0)
Al	0,014	0,025	0,029	0,026	0,046	0.028	(0,03 ± 0,01)
V	0,082	0,075	0,073	0,068	0,062	0.072	(0,072 ± 0,007)
W	0,182	0,013	0,025	0,064	0,046	0.066	(0,07 ± 0,06)
Ca	0,525	0,223	0,268	0,342	0,194	0.3104	(0,3 ± 0,1)
S	(0,240)	(0,127)	(0,207)	(0,183)	(0,239)	0.1992	(0,20 ± 0,04)
P	0,334	0,261	(0,000)	0,096	(0,000)	0.1382	(0,1 ± 0,1)

Berdasarkan data pada tabel 11 dijelaskan bahwa pada baja SS304 yang diuji dengan menggunakan OES terdeteksi 15 unsur pembentuk dengan jumlah persentase yang berbeda-beda. Kelima belas unsur beserta rata-rata persentasenya berdasarkan hasil uji alat OES diantaranya adalah: (70,4 ± 0,9)% besi (Fe), (0,2 ± 0,1)% karbon (C), (0,6 ± 0,2)% silikon (Si), (1,6 ± 0,2)% mangan (Mn), (19,4 ± 0,4)% krom (Cr), (7,0 ± 0,2)% nikel (Ni), (0,10 ± 0,07)% molibdenum (Mo), (0,03 ± 0,01)% tembaga (Cu), (0,014 ± 0,005)% titanium (Ti), (0,03 ± 0,01)% alumunium (Al), (0,072 ± 0,007)%

vanadium (V), $(0,07 \pm 0,06)\%$ tungsten (W), $(0,3 \pm 0,1)\%$ kalsium (Ca), $(0,20 \pm 0,04)\%$ sulfur (S), dan $(0,1 \pm 0,1)\%$ pospor (P).

b. Hasil uji persentase unsur menggunakan OES pada logam SS310

Logam SS310 merupakan logam *stainles steel* yang belum diketahui komposisi unturnya jika diuji dengan menggunakan *Optical Emission Spectroscopy*. Pengujian komposisi dilakukan sebanyak 5 kali dan menarik rerata dari kelima hasil data. Data hasil uji persentase unsur logam SS310 menggunakan OES dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Data Uji Komposisi Unsur Logam SS310 Menggunakan OES

<i>Measurement name : SS310 Persentase unsur dalam logam (%)</i>							
<i>Element</i>	SS310 .4 (%)	SS310 .3 (%)	SS310 .2 (%)	SS310 .1 (%)	SS310 .0 (%)	Rata-rata (X) %	X ± ΔX (%)
Fe	54,33	53,69	51,67	55,25	41,80	51.348	(51 ± 5)
C	0,069	0,192	(0,290)	(0,13)	(0,000)	0.1362	(0,14 ± 0,09)
Si	0,630	0,802	1,643	0,217	2,856	1.2296	(1,3 ± 0,9)
Mn	1,603	1,276	0,760	0,798	2,740	1.4354	(1,4 ± 0,7)
Cr	25,19	23,43	21,95	27,91	(48,43)	29.382	(29 ± 9)
Ni	17,66	20,07	22,59	14,32	2,785	15.485	(16 ± 7)
Mo	0,154	0,211	0,189	0,248	0,078	0.176	(0,18 ± 0,06)
Cu	0,025	0,012	0,000	0,003	0,089	0.0258	(0,03 ± 0,03)
Ti	0,001	0,011	0,038	0,067	0,200	0.0634	(0,06 ± 0,06)
Nb	0,057	0,000	(0,000)	(0,000)	(0,000)	0.0114	(0,01 ± 0,01)
Al	0,000	0,016	0,050	0,083	0,256	0.081	(0,08 ± 0,09)
V	0,132	0,107	0,053	0,032	(0,000)	0.0648	(0,07 ± 0,05)
W	0,003	0,024	(0,000)	0,000	0,068	0.019	(0,02 ± 0,02)
Ca	0,101	0,108	0,176	0,173	0,579	0.2274	(0,2 ± 0,2)
S	(0,116)	(0,085)	(0,135)	(0,141)	(0,223)	0.14	(0,14 ± 0,05)
P	0,000	0,088	0,300	(0,000)	(0,897)	0.257	(0,3 ± 0,3)

Berdasarkan data pada tabel 12 dijelaskan bahwa baja SS310 yang diuji dengan menggunakan OES terdeteksi 16 unsur pembentuk dengan jumlah persentase yang berbeda-beda. Keenam belas unsur beserta rata-rata persentasenya berdasarkan hasil uji alat OES diantaranya adalah: $(51 \pm 5)\%$ besi (Fe), $(0,14 \pm 0,09)\%$ karbon (C), $(1,3 \pm 0,9)\%$ silikon (Si), $(1,4 \pm 0,7)\%$ mangan (Mn), $(29 \pm 9)\%$ krom (Cr), $(16 \pm 7)\%$ nikel (Ni), $(0,18 \pm 0,06)\%$ molibdenum (Mo), $(0,03 \pm 0,03)\%$ tembaga (Cu), $(0,06 \pm 0,06)\%$ titanium (Ti), $(0,01 \pm 0,01)\%$ niobium (Nb), $(0,08 \pm 0,09)\%$ alumunium (Al), $(0,07 \pm 0,05)\%$ vanadium (V), $(0,02 \pm 0,02)\%$ tungsten (W), $(0,2 \pm 0,2)\%$ kalsium (Ca), $(0,14 \pm 0,05)\%$ sulfur (S), dan $(0,3 \pm 0,3)\%$ pospor (P).

c. Hasil uji persentase unsur menggunakan OES pada logam Low Alloy

Logam Low Alloy merupakan logam baja paduan karbon rendah yang belum diketahui komposisi unsurnya jika diuji dengan menggunakan *Optical Emission Spectroscopy*. Pengujian komposisi dilakukan sebanyak 5 kali dan menarik rerata dari kelima hasil data. Data hasil uji persentase unsur logam Low Alloy menggunakan OES dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 13. Data Uji Komposisi Unsur Logam Low Alloy Menggunakan OES

<i>Measurement name : Low Alloy Persentase unsur dalam logam (%)</i>							
<i>Element</i>	Low Alloy .4 (%)	Low Alloy .3 (%)	Low Alloy .2 (%)	Low Alloy .1 (%)	Low Alloy .0 (%)	Rata-rata (X) %	X ± ΔX (%)
Fe	95,71	96,02	94,33	93,71	93,34	94.622	(95 ± 1)
C	0,1396	(0,1750)	(0,1785)	(0,2671)	(0,000)	0.15204	(0,15 ± 0,09)
Si	1,376	1,003	2,175	2,137	2,076	2.5134	(3 ± 2)
Mn	0,576	0,588	0,577	0,518	0,446	0.541	(0,54 ± 0,05)
Cr	1,107	1,010	1,142	0,875	1,438	1.1144	(1,1 ± 0,2)
Ni	0,263	0,288	0,221	0,207	0,377	0.2712	(0,27 ± 0,06)
Mo	0,322	0,323	0,300	0,387	0,276	0.3216	(0,32 ± 0,04)
Cu	0,222	0,251	0,334	0,256	1,026	0.4178	(0,4 ± 0,3)
Al	0,027	0,038	0,046	0,097	0,545	0.1506	(0,2 ± 0,2)
V	0,05	0,05	0,05	0,085	0,09	0.065	(0,07 ± 0,02)
W	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)	0	(0 ± 0)
Ti	0,101	0,100	0,114	0,106	0,185	0.1212	(0,12 ± 0,03)
Nb	0,036	0,015	0,008	0,08	(0,000)	0.0278	(0,03 ± 0,03)
B	(0,047)	(0,064)	(0,065)	(0,111)	(0,000)	0.0574	(0,06 ± 0,04)
S	(0,000)	0,000	0,021	0,000	(0,000)	0.0042	(0,004 ± 0,008)
P	(0,000)	0,093	(0,000)	0,144	0,017	0.0508	(0,05 ± 0,05)

Berdasarkan data pada tabel 13 dijelaskan bahwa pada baja Low Alloy yang diuji dengan menggunakan OES terdeteksi 16 unsur pembentuk dengan jumlah persentase yang berbeda-beda. Keempat belas unsur beserta rata-rata persentasenya berdasarkan hasil uji alat OES diantaranya adalah: (95 ± 1)% besi (Fe), (0,15 ± 0,09)% karbon (C), (3 ± 2)% silikon (Si), (0,54 ± 0,05)% mangan (Mn), (1,1 ± 0,2)% krom (Cr), (0,27 ± 0,06)% nikel (Ni), (0,32 ± 0,04)% molibdenum (Mo), (0,4 ± 0,3)% tembaga (Cu), (0,12 ± 0,03)% titanium (Ti), (0,03 ± 0,03)% niobium (Nb), (0,2 ± 0,2)% aluminium

(Al), $(0,07 \pm 0,02)\%$ vanadium (V), $(0,06 \pm 0,04)\%$ boron (B), $(0,004 \pm 0,008)\%$ sulfur (S), dan $(0,05 \pm 0,05)\%$ pospor (P).

d. Hasil uji persentase unsur menggunakan OES pada logam 17-4PH

Pengujian komposisi pada logam 17-4PH dilakukan sebanyak 5 kali dan menarik rerata dari kelima hasil data. Data hasil uji persentase unsur logam 17-4PH menggunakan OES dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 14. Data Uji Komposisi Unsur Logam 17-4PH Menggunakan OES

<i>Measurement name : 17-4PH Persentase unsur dalam logam (%)</i>							
<i>Element</i>	17-4PH .4 (%)	17-4PH .3 (%)	17-4PH .2 (%)	17-4PH .1 (%)	17-4PH .0 (%)	Rata-rata (X) %	X ± ΔX (%)
Fe	74,66	74,09	74,43	74,28	74,97	74.486	$(74,5 \pm 0,3) \%$
C	0,072	0,077	0,085	0,108	(0,688)	0.206	$(0,2 \pm 0,2) \%$
Si	0,561	0,539	0,576	0,460	0,527	0.5326	$(0,53 \pm 0,04) \%$
Mn	0,398	0,418	0,380	0,484	0,416	0.4192	$(0,42 \pm 0,04) \%$
Cr	15,48	15,70	15,34	16,55	15,34	15.682	$(15,7 \pm 0,5) \%$
Ni	3,463	3,499	3,565	3,288	3,379	3.4388	$(3,44 \pm 0,09) \%$
Mo	0,379	0,368	0,385	0,306	0,317	0.351	$(0,35 \pm 0,03) \%$
Cu	4,368	4,193	4,490	3,881	3,658	4.118	$(4,1 \pm 0,3) \%$
Al	0,030	0,070	0,072	0,078	0,145	0.079	$(0,08 \pm 0,04) \%$
V	0,103	0,105	0,105	0,105	0,093	0.1022	$(0,102 \pm 0,005) \%$
W	0,045	0,064	0,044	0,048	0,007	0.0416	$(0,04 \pm 0,02) \%$
Ca	0,111	0,110	0,092	0,122	0,151	0.1172	$(0,12 \pm 0,02) \%$
S	(0,169)	(0,206)	(0,122)	(0,130)	(0,126)	0.1506	$(0,15 \pm 0,03) \%$
P	0,000	0,256	0,000	0,000	0,158	0.0828	$(0,1 \pm 0,1) \%$

Berdasarkan data pada tabel 14 dijelaskan bahwa baja 17-4PH yang diuji dengan menggunakan OES terdeteksi 14 unsur pembentuk dengan jumlah persentase yang berbeda-beda. Keempat belas unsur beserta rata-rata

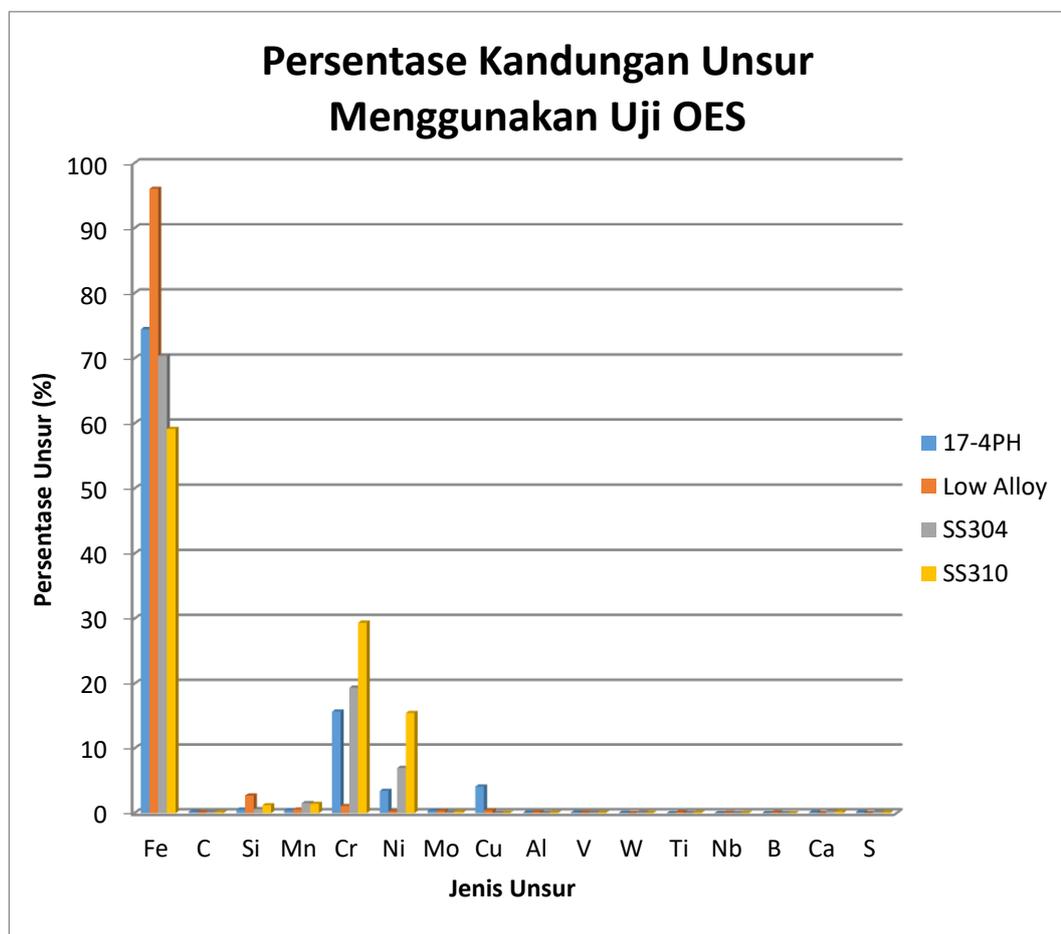
persentasenya berdasarkan hasil uji alat OES diantaranya adalah: $(74,5 \pm 0,3)\%$ besi (Fe), $(0,2 \pm 0,2)\%$ karbon (C), $(0,53 \pm 0,04)\%$ silikon (Si), $(0,42 \pm 0,04)\%$ mangan (Mn), $(15,7 \pm 0,5)\%$ krom (Cr), $(3,44 \pm 0,09)\%$ nikel (Ni), $(0,35 \pm 0,03)\%$ molibdenum (Mo), $(4,1 \pm 0,3)\%$ tembaga (Cu), $(0,08 \pm 0,04)\%$ alumunium (Al), $(0,102 \pm 0,005)\%$ vanadium (V), $(0,04 \pm 0,02)\%$ tungsten (W), $(0,12 \pm 0,02)\%$ kalsium (Ca), $(0,15 \pm 0,03)\%$ sulfur (S), dan $(0,1 \pm 0,1)\%$ pospor (P).

Keempat data hasil pengujian menggunakan OES kemudian ditarik rata-rata dari lima pengujian. Berikut data hasil uji komposisi unsur logam dengan menggunakan OES pada tabel 15.

Tabel 15. Data Uji Komposisi Unsur Logam SS310, SS304, Low Alloy, dan 17-4PH Menggunakan OES

Unsur	Rata-rata Persentase Unsur (%)			
	17-4PH	Low Alloy	SS304	SS310
Fe	$(74,5 \pm 0,3) \%$	$(95 \pm 1) \%$	$(70,4 \pm 0,9) \%$	$(51 \pm 5) \%$
C	$(0,2 \pm 0,2) \%$	$(0,15 \pm 0,09) \%$	$(0,2 \pm 0,1) \%$	$(0,14 \pm 0,09) \%$
Si	$(0,53 \pm 0,04) \%$	$(3 \pm 2) \%$	$(0,6 \pm 0,2) \%$	$(1,3 \pm 0,9) \%$
Mn	$(0,42 \pm 0,04) \%$	$(0,54 \pm 0,05) \%$	$(1,6 \pm 0,2) \%$	$(1,4 \pm 0,7) \%$
Cr	$(15,7 \pm 0,5) \%$	$(1,1 \pm 0,2) \%$	$(19,4 \pm 0,4) \%$	$(29 \pm 9) \%$
Ni	$(3,44 \pm 0,09) \%$	$(0,27 \pm 0,06) \%$	$(7,0 \pm 0,2) \%$	$(16 \pm 7) \%$
Mo	$(0,35 \pm 0,03) \%$	$(0,32 \pm 0,04) \%$	$(0,10 \pm 0,07) \%$	$(0,18 \pm 0,06) \%$
Cu	$(4,1 \pm 0,3) \%$	$(0,4 \pm 0,3) \%$	$(0,03 \pm 0,01) \%$	$(0,03 \pm 0,03) \%$
Al	$(0,08 \pm 0,04) \%$	$(0,2 \pm 0,2) \%$	$(0,03 \pm 0,01) \%$	$(0,08 \pm 0,09) \%$
V	$(0,102 \pm 0,005) \%$	$(0,07 \pm 0,02) \%$	$(0,072 \pm 0,007) \%$	$(0,07 \pm 0,05) \%$
W	$(0,04 \pm 0,02) \%$	$(0 \pm 0) \%$	$(0,07 \pm 0,06) \%$	$(0,02 \pm 0,02) \%$
Ti	$(0 \pm 0) \%$	$(0,12 \pm 0,03) \%$	$(0,014 \pm 0,005) \%$	$(0,06 \pm 0,06) \%$
Nb	$(0 \pm 0) \%$	$(0,03 \pm 0,03) \%$	$(0 \pm 0) \%$	$(0,02 \pm 0,01) \%$
B	$(0 \pm 0) \%$	$(0,06 \pm 0,04) \%$	$(0 \pm 0) \%$	$(0 \pm 0) \%$
Ca	$(0,12 \pm 0,02) \%$	$(0 \pm 0) \%$	$(0,3 \pm 0,1) \%$	$(0,2 \pm 0,2) \%$
S	$(0,15 \pm 0,03) \%$	$(0,004 \pm 0,008) \%$	$(0,20 \pm 0,04) \%$	$(0,14 \pm 0,05) \%$
P	$(0,1 \pm 0,1) \%$	$(0,05 \pm 0,05) \%$	$(0,1 \pm 0,1) \%$	$(0,3 \pm 0,3) \%$

Hasil data tabel 15 diaplikasikan ke dalam grafik batang untuk diketahui perbedaan masing-masing unsur pada logam sampel. Persentase pengujian kandungan unsur menggunakan uji OES akan memberikan hasil yang berbeda dengan uji yang menggunakan XRF karena dalam uji OES akan terdeteksi unsur karbon (C) yang dalam pengujian XRF tidak dapat terdeteksi oleh sensor. Berikut grafik persentase kandungan unsur menggunakan uji OES disajikan pada gambar 11.



Gambar 11. Grafik Hasil Uji Komposisi Pada Logam SS310, SS304, Low Alloy, dan 17-4PH Menggunakan OES.

Grafik pada gambar 11 menjelaskan bahwa unsur yang terdeteksi oleh alat uji OES adalah 1 besi (Fe), karbon (C), silikon (Si), mangan (Mn), krom (Cr), nikel (Ni), molibdenum (Mo), tembaga (Cu), aluminium (Al), vanadium (V), wolfram (W), titanium (Ti), niobium (Nb), boron (B), kalsium (Ca), dan sulfur (S).

B. Pembahasan

1. Pengujian Kekerasan Menggunakan Alat Uji Rockwell pada Baja

Pencampuran unsur dalam suatu baja merupakan salah satu langkah atau metode yang digunakan dalam rangka untuk meningkatkan tingkat kekerasan pada suatu baja. Unsur-unsur dengan komposisi logam tertentu akan memberikan efek yang berbeda-beda serta sifat yang khas pada bahan baik kekerasannya, keuletannya, kekokohannya pada setiap baja yang dipadukan. Selain itu jumlah persentase kandungan bahan yang dicampurkan juga mempengaruhi sifat-sifat pada baja.

Pengujian kekerasan pada baja dilakukan dengan menggunakan alat uji *Hardness Test Rockwell*. Penggunaan metode *Rockwell* disebabkan karena alat uji *Rockwell* merupakan uji yang tidak merusak bahan secara total. Jejak bulatan bekas pengujian *Rockwell* yang dihasilkan dari pengujian kekerasan tidak seluas jejak bulatan pada penggunaan alat uji kekerasan yang lainnya, sehingga untuk meminimalisir penggunaan sampel serta mengefisienkan waktu dan

biaya, pengujian tingkat kekerasan baja dilakukan dengan menggunakan metode *Rockwell*.

Pengambilan data sampel pada uji kekerasan menggunakan alat *Rockwell* dilakukan sebanyak sepuluh kali pengujian. Masing-masing pengujian diberikan perlakuan yang sama yakni diampelas serta diberi jarak tiap pengujian sejauh 0,5 cm. Ditentukan rerata pada sepuluh kali percobaan setiap sampel uji. Satuan keluaran pada hasil uji *Rockwell* adalah berupa satuan HRb dan HRC yang kemudian disamakan skala tersebut dengan menggunakan skala *Brinell*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa urutan kekerasan pada logam baja sampel dari yang paling keras adalah logam 17-4PH dengan nilai kekerasannya sebesar 39,98 HRC atau setara dengan 372 satuan *Brinell*, logam SS304 memiliki kekerasan sebesar 83,68 HRb setara dengan 159 satuan *Brinell*, logam Low Alloy tingkat kekerasannya sebesar 78,10 HRb setara dengan 141 satuan *Brinell*, dan logam baja SS310 nilai kekerasan sebesar 71,09 HRb yang setara dengan 123 satuan *Brinell*.

2. Pengujian variasi dan persentase unsur dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence (XRF)* dan *Optical Emission Spectroscopy (OES)*

Sampel baja yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 3 jenis baja, yakni; *stainless steel*, low alloy, dan baja 17-4PH. Baja *stainless steel* memiliki jenis yang sangat beraneka ragam sehingga dalam penelitian ini digunakan dua sampel dari jenis baja *stainless steel*, yakni;

SS304 dan SS310. Perbedaan pada kedua jenis baja *stainless steel* tersebut disebabkan oleh jumlah kandungan nikel (Ni) dan krom (Cr). Masing-masing baja tersebut belum diketahui kandungan bahannya serta jumlah persentase di dalam baja. Untuk menguji kandungan bahan serta persentase unsur didalamnya digunakan dua buah alat pengujian kandungan unsur, yakni: *X-Ray Fluorescence (XRF)* dan *Optical Emission Spectroscopy (OES)*. Kedua alat ini merupakan alat uji kandungan unsur yang tidak merusak bahan atau sampel.

Analisis *X-Ray Fluorescence (XRF)* digunakan untuk mengetahui komposisi kimia dari sampel dan juga akan diperoleh spektrum yang menunjukkan hubungan antara intensitas dengan energi. Spektrum yang dihasilkan oleh XRF berasal dari penembakan berkas elektron pada target. Hal ini akan menyebabkan atom-atom bahan mengalami ionisasi. Proses ini akan menyebabkan atom-atom bahan berada pada kondisi yang stabil dengan jumlah proton sama dengan elektron, elektron pada bahan akan mengalami eksitasi. Elektron yang memiliki tingkat energi lebih tinggi akan mengalami transisi ke tingkat energi yang lebih rendah. Saat terjadi transisi, maka akan dilepaskan sejumlah energi yang antara lain berupa sinar-X yang akan ditangkap oleh detektor dan ditampilkan dalam bentuk spektrum. Cara pengujian menggunakan XRF *Niton XL2 GOLDD* adalah dengan mengarahkan sinar-X diarahkan pada permukaan benda yang diuji. Sampel diuji sebanyak 3 kali pada logam baja, kemudian

dihasilkan data keluaran berupa *peak*, variasi, serta persentase unsur yang terkandung di dalam logam. Karakteristik pada masing-masing logam memiliki variasi unsur dan jumlah persentase yang berbeda. *Peak* yang dihasilkan dari pengujian merupakan puncak pada spektrum yang menunjukkan adanya hubungan antara intensitas dan energi.

Arc Met 8000 juga merupakan salah satu alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi unsur suatu material dengan menggunakan prinsip kerja spektroskopi emisi atomik atau *Optical Emission Spectroscopy* (OES). Metode penggunaan *Arc Met 8000* yakni dengan cara sampel diletakkan di mulut mesin uji dan ditembakkan gas argon. Pengujian menggunakan alat uji OES dilakukan sebanyak 5 kali pengujian.

Tabel 10 menunjukkan bahwa ada 8 unsur yang sama dalam pembentukan baja sampel dari hasil uji menggunakan karakterisasi XRF. Unsur-unsur tersebut diantaranya adalah: Mo, Fe, Ni, Cr, Mn, Si, S, dan P. Masing-masing unsur memiliki persentase yang berbeda serta ciri khas khusus pada logam baja. Unsur tersebut juga merupakan unsur pembawa sifat yang akan megantarkan logam baja menjadi baja yang kuat atau menjadi baja yang lunak.

Gambar 10 mempresentasikan adanya hubungan antara jenis unsur dengan persentasenya, kemudian dikolerasikan dengan nilai kekerasan pada keempat baja sampel. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa dari

kedelapan unsur dengan persentase yang berbeda-beda tersebut tidak dapat ditemukan korelasi yang menunjukkan bahwa suatu mempengaruhi tingkat kekerasan baja. Nilai persentase dari kedelapan unsur tersebut tidak sesuai dengan urutan tingkat kekerasan baja, sehingga dari pengujian menggunakan XRF tidak dapat ditentukan unsur mana yang mempengaruhi tingkat kekerasan suatu baja, namun tidak menutup kemungkinan bahwa paduan antara unsur X dan unsur Y dengan komposisi khusus yang dapat memberikan tingkat kekerasan pada suatu baja.

Tabel 15 hasil pengujian logam menggunakan OES menunjukkan bahwa terdapat 17 jenis unsur yang terdeteksi pada keempat baja sampel. Unsur-unsur tersebut diantaranya adalah: Fe, C, Si, Mn, Cr, Ni, Mo, Cu, Al, V, W, Ti, Nb, B, Ca, S, dan P. Masing-masing unsur memiliki persentase yang berbeda serta ciri khas khusus pada logam baja. Unsur tersebut juga merupakan unsur pembawa sifat yang akan mengantarkan logam baja menjadi baja yang kuat atau menjadi baja yang lunak.

Gambar 11 mempresentasikan adanya hubungan antara jenis unsur dengan persentasenya, kemudian dikorelasikan dengan urutan kekerasan keempat baja sampel. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terdapat dua unsur urutan persentasinya sama dengan urutan tingkat kekerasan suatu baja. Unsur tersebut adalah karbon dan vanadium.

Urutan unsur vanadium dari yang paling besar yakni logam 17-4PH dengan nilai vanadium 0,102%, SS304 dengan vanadium 0,072%, Low Alloy mengandung vanadium 0,065%, dan SS310 dengan vanadium 0,064%.

Urutan unsur karbon dari yang paling besar yakni logam 17-4PH mengandung karbon sebesar 0,206%, SS304 mengandung unsur karbon sebesar 0,177%, Low Alloy mengandung unsur karbon sebesar 0,152%, dan SS310 dengan nilai karbon sebesar 0,141%. Urutan kedua unsur ini sama dengan tingkat kekerasan baja sampel. Sifat-sifat asli yang dibawa dari kedua unsur tersebut juga salah satunya merupakan pembawa sifat kekerasan pada suatu baja, berbeda dengan unsur krom dan nikel yang akan bekerja secara maksimal pada suhu tinggi, sehingga dalam pengujian ini unsur krom dan nikel tidak berpengaruh dalam kekerasan logam karena menggunakan suhu normal.

Perbandingan hasil pengujian menggunakan alat uji XRF dan OES pada keempat logam sampel.

Tabel 16. Hasil Uji Komposisi Unsur dan Persentasenya Menggunakan XRF dan OES.

No	Unsur Mineral	Persentase Unsur (%)							
		SS304		SS310		Low Alloy		17-4PH	
		XRF	OES	XRF	OES	XRF	OES	XRF	OES
1	Ni	7,70	6,97	19,33	15,49	0,00	0,27	4,07	3,44
2	Fe	70,11	70,39	53,70	51,35	98,07	94,62	75,45	74,49
3	Mn	1,32	1,56	1,51	1,44	0,47	0,54	0,59	0,42
4	Cr	17,96	19,38	23,89	29,38	0,95	1,11	15,38	15,68
5	V	0,10	0,07	0,16	0,06		0,06	0,15	0,10
6	S	0,16	0,19		0,14		0,004		0,15
7	Si	2,06	0,63	1,07	1,23		2,51		0,53
8	P	0,07	0,14		0,26		0,05		0,08
9	Co	0,41							
10	Mo	0,06	0,09	0,11	0,18	0,49	0,32	0,27	0,35
11	C		0,18		0,14		0,15		0,21
12	Cu		0,03		0,03		0,42	3,49	4,12
13	Al		0,03		0,08		0,15		0,08
14	W		0,07		0,02				0,04
15	Ti		0,01		0,06		0,12	0,10	
16	Nb				0,01		0,03	0,24	
17	Ca		0,31		0,23				0,12

Hasil tabel 16 menunjukkan adanya selisih antara pengukuran hasil persentase dari yang diuji menggunakan XRF dan OES, hal ini disebabkan karena adanya ralat pada masing-masing alat yang berbeda-beda. Disamping itu, perbedaan persentase unsur pada hasil pengujian XRF dan OES juga disebabkan karena jenis pemicu eksitasi yang ditembakkan berbeda. XRF menggunakan sinar-X sedangkan OES menggunakan gas argon.

3. Pengaruh Variasi Unsur dan Persentase Kandungan Bahan pada Nilai Kekerasan Logam Baja SS304, SS310, Low Alloy, dan 17-4PH

Hasil penelitian yang dideskripsikan dalam bentuk grafik diagram batang diketahui bahwa adanya perbedaan tingkat kekerasan pada setiap sampel dari berbagai jenis baja campuran. Masing-masing logam baja memiliki ciri khas tersendiri pada tingkat kekerasan dan kandungan unsur mineral yang terdapat di dalamnya. Berikut hasilnya:

a. Tingkat kekerasan pada baja SS304

Logam SS304 merupakan logam baja *Stainless steel* yang memiliki kandungan nikel (Ni) dan krom (Cr) secara khusus. Kandungan nikel dan krom yang ditentukan tersebut memberikan efek yang terlihat jelas pada sifat-sifat logam baja tersebut. Sifat mekanis logam baja meliputi kekuatan, kekenyalan, keliatan, kekerasan, kegetasan, keuletan, tahan aus, batas penjararan, dan kekuatan *stress rupture*.

Pengujian kekerasan pada baja dengan menggunakan alat uji *Rockwell* memberikan hasil tingkat kekerasan logam baja SS304 dari keempat sampel uji kekerasan logam SS304 menduduki posisi kedua dengan nilai kekerasannya sebesar 83,86 HRb, kemudian dikonversikan kedalam satuan *Brinell* sehingga logam SS304 memiliki tingkat kekerasan sebesar 158,8 skala satuan *Brinell*.

Hasil uji XRF menunjukkan bahwa unsur pada logam SS304 jika diurutkan dari rata-rata persentase yang paling tinggi adalah $(70,1 \pm 0,1)$

Fe, $(17,96 \pm 0,11)\%$ Cr, $(7,7 \pm 0,1)\%$ Ni, $(2,1 \pm 0,3)\%$ Si, $(1,32 \pm 0,12)\%$ Mn, $(0,41 \pm 0,03)\%$ Co, $(0,16 \pm 0,02)\%$ S, $(0,10 \pm 0,06)\%$ V, $(0,07 \pm 0,05)\%$ P, dan $(0,06 \pm 0,01)\%$ Mo. Hasil uji OES pada logam SS304 adalah $(70,4 \pm 0,9)\%$ Fe, $(19,4 \pm 0,4)\%$ Cr, $(7,0 \pm 0,2)\%$ Ni, $(1,6 \pm 0,2)\%$ Mn, $(0,6 \pm 0,2)\%$ Si, $(0,3 \pm 0,1)\%$ Ca, $(0,20 \pm 0,04)\%$ S, $(0,2 \pm 0,1)\%$ C, $(0,1 \pm 0,1)\%$ P, $(0,10 \pm 0,07)\%$ Mo, $(0,072 \pm 0,007)\%$ V, $(0,07 \pm 0,06)\%$ W, $(0,03 \pm 0,01)\%$ Cu, $(0,03 \pm 0,01)\%$ Al, dan $(0,014 \pm 0,005)\%$ Ti.

Unsur-unsur yang mempengaruhi tingkat kekerasan pada logam SS304 diantaranya adalah kromium, vanadium, molibdenum, karbon, dan wolfram. Unsur lainnya seperti kobalt, tembaga, titanium, dan niobium berperan untuk meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap korosi. Besi (Fe) sebagai bahan utama baja, nikel sebagai unsur pengikat pada baja paduan, aluminium dan kalsium sebagai unsur tambahan pada baja. Unsur silikon (Si) membuat baja menjadi tidak kuat ketika semakin besar persentase kandungan silikonnya, karena unsur silika harus dikondisikan tidak lebih dari 3%. Baja SS304 mengandung unsur silikon terbanyak kedua setelah baja Low Alloy, hal ini menyebabkan tingkat kekerasan baja SS304 tidak terlalu tinggi karena semakin banyak kadar silikonnya maka akan membuat baja menjadi semakin tidak stabil dan menyebabkan baja menjadi tidak kuat. Unsur sulfur memiliki titik cair yang rendah dan rapuh. Kadar sulfur juga harus dijaga serendah mungkin dibawah 0,05%. Pada baja SS304 mengandung unsur sulfur sebesar

0,16% (menggunakan uji XRF) dan 0,199% (menggunakan uji OES). Besar persentase unsur sulfur lebih dari 0,05%, sehingga unsur sulfur ini juga yang menyebabkan baja SS304 menjadi tidak kuat dan mudah retak.

b. Tingkat kekerasan pada baja SS310

Logam SS310 juga merupakan logam baja *Stainless steel* yang memiliki kandungan nikel (Ni) dan krom (Cr) secara khusus, namun kandungan nikel dan kromium dalam baja SS310 berbeda dengan logam baja SS304. Kandungan krom dan nikel logam SS310 memiliki kadar prosentase yang lebih tinggi dibandingkan dengan logam SS304.

Pengujian kekerasan pada baja dengan menggunakan alat uji *Rockwell* memberikan hasil tingkat kekerasan dari keempat sampel uji kekerasan logam SS310 menduduki posisi keempat dengan nilai kekerasannya sebesar 71,09 HRb, kemudian dikonversikan kedalam satuan *Brinell* sehingga logam SS310 memiliki tingkat kekerasan sebesar 122,8 skala satuan *Brinell*.

Hasil uji XRF menunjukkan bahwa unsur pada logam SS310 jika diurutkan dari rata-rata persentase yang paling tinggi adalah $(53,70 \pm 0,02)\%$ Fe, $(23,89 \pm 0,03)\%$ Cr, $(19,33 \pm 0,2)\%$ Ni, $(1,51 \pm 0,04)\%$ Mn, $(1,07 \pm 0,03)\%$ Si, $(0,16 \pm 0,02)\%$ V, dan $(0,110 \pm 0,005)\%$ Mo. Hasil uji OES logam SS310 adalah $(51 \pm 5)\%$ Fe, $(29 \pm 9)\%$ Cr, $(16 \pm 7)\%$ Ni, $(1,4 \pm 0,7)\%$ Mn, $(1,3 \pm 0,9)\%$ Si, $(0,3 \pm 0,3)\%$ P, $(0,2 \pm 0,2)\%$ Ca, $(0,18 \pm 0,06)\%$ Mo, $(0,14 \pm 0,09)\%$ C, $(0,14 \pm 0,05)\%$ S, $(0,08 \pm 0,09)\%$ Al, $(0,07$

$\pm 0,05$)% V, $(0,06 \pm 0,06)$ % Ti, $(0,03 \pm 0,03)$ % Cu, $(0,02 \pm 0,02)$ % W, dan $(0,01 \pm 0,01)$ % Nb.

Besi (Fe) sebagai unsur utama pembentuk baja memiliki jumlah persentase yang paling tinggi. Unsur krom dan nikel pada logam SS310 merupakan unsur tertinggi persentasenya dibandingkan dengan logam baja yang lain. Meski memiliki unsur krom dan nikel yang paling tinggi diantara keempat sampel logam baja lainnya, namun tingkat kekerasannya tetap berada pada urutan keempat. Hal ini disebabkan karena krom dan nikel akan mulai bekerja secara maksimal dalam kondisi temperatur tinggi, semakin tinggi temperaturnya ikatan krom nikelnya akan semakin rapat sehingga logam baja akan semakin kuat dan keras.

Unsur-unsur yang mempengaruhi tingkat kekerasan pada logam SS310 adalah kromium yang bekerja maksimal pada kondisi suhu yang tinggi, sedangkan unsur lainnya yang mempengaruhi tingkat kekerasan logam seperti vanadium, molibdenum, karbon, dan wolfram, memiliki persentase unsur yang tidak terlalu tinggi bahkan tidak mencapai persentase 1%. Unsur vanadium yang berperan sebagai unsur pembawa sifat kekerasan memiliki persentase urutan keempat diantara logam sampel percobaan.

Unsur lainnya seperti kobalt, tembaga, titanium, dan niobium meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap korosi. Unsur

mangan yang berfungsi untuk menjaga ketidakteraturan pada baja harus dikondisikan persentasenya dibawah 1%, namun pada logam baja SS310 kandungan mangan memiliki persentase lebih dari 1%. Hal inilah pula yang menjadi salah satu penyebab logam SS310 memiliki tingkat kekerasan nomor empat diantara sampel baja yang lainnya. Unsur sulfur memiliki titik cair yang rendah dan rapuh. Kadar sulfur juga harus dijaga serendah mungkin dibawah 0,05%. Pada baja SS304 mengandung unsur sulfur sebesar 0,09% yang menggunakan uji XRF. Besar persentase unsur sulfur lebih dari 0,05%, sehingga unsur sulfur juga yang menyebabkan baja SS304 menjadi tidak kuat dan mudah retak. Unsur silika (Si) membuat baja menjadi tidak kuat dan membuat baja menjadi semakin tidak stabil ketika semakin besar persentase kandungan silikonnya, sehingga harus dikondisikan persentase silika tidak lebih dari 3%. Logam SS310 memiliki persentase silika dibawah 2%, namun meski jumlah persentase silika tidak terlalu banyak tetapi unsur penguat baja tersebut kadarnya masih terlalu sedikit, sehingga sifat kekerasannya tidak maksimal.

c. Tingkat kekerasan pada baja Low Alloy

Baja Low Alloy merupakan baja biasa yang memiliki bahan dasar dominan berupa besi (Fe). Pengujian kekerasan pada baja dengan menggunakan alat uji *Rockwell* memberikan hasil tingkat kekerasan dari keempat sampel uji kekerasan logam Low Alloy menduduki posisi ketiga

dengan nilai kekerasannya sebesar 78,10 HRb, kemudian dikonversikan kedalam satuan *Brinell* sehingga logam Low Alloy memiliki tingkat kekerasan sebesar 140,5 skala satuan *Brinell*.

Hasil uji XRF menunjukkan bahwa unsur pada logam Low Alloy jika diurutkan dari rata-rata persentase yang paling tinggi adalah $(98,1 \pm 0,1)\%$ Fe, $(0,95 \pm 0,03)\%$ Cr, $(0,47 \pm 0,06)\%$ Mn, $(0,49 \pm 0,02)\%$ Mo, dan $(0 \pm 0)\%$ Ni. Hasil uji OES pada logam Low Alloy adalah $(95 \pm 1)\%$ Fe, $(3 \pm 2)\%$ Si, $(1,1 \pm 0,2)\%$ Cr, $(0,54 \pm 0,05)\%$ Mn, $(0,4 \pm 0,3)\%$ Cu, $(0,32 \pm 0,04)\%$ Mo, $(0,27 \pm 0,06)\%$ Ni, $(0,15 \pm 0,09)\%$ C, $(0,2 \pm 0,2)\%$ Al, $(0,12 \pm 0,03)\%$ Ti, $(0,07 \pm 0,02)\%$ V, $(0,05 \pm 0,05)\%$ P, $(0,03 \pm 0,03)\%$ Nb, dan $(0,004 \pm 0,008)\%$ S.

Besi (Fe) sebagai unsur utama pembentuk baja memiliki jumlah persentase yang paling tinggi. Unsur lainnya dalam baja low alloy berperan sebagai pelengkap diantaranya seperti unsur nikel, mangan, kromium, dan molibdenum hanya berpersentase dibawah 1%.

Unsur-unsur yang mempengaruhi tingkat kekerasan pada logam Low Alloy adalah besi (Fe) ditambah dengan paduan unsur lainnya dengan persentase kandungan yang tak lebih dari 1%, sedangkan unsur lainnya yang mempengaruhi tingkat kekerasan logam seperti kromium, nikel, vanadium, molibdenum, karbon, dan wolfram, memiliki persentase unsur yang tidak terlalu tinggi bahkan tidak mencapai persentase 1%.

Unsur vanadium yang berperan sebagai unsur pembawa sifat kekerasan memiliki persentase urutan ketiga diantara logam sampel percobaan.

Unsur lainnya seperti kobalt, tembaga, titanium, dan niobium meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap korosi. Unsur mangan yang berfungsi untuk menjaga ketidakteraturan pada baja harus dikondisikan persentasenya dibawah 1%, logam baja Low Alloy memiliki kandungan mangan memiliki persentase kurang dari 1%. Hal inilah pula yang menjadi salah satu penyebab logam Low Alloy memiliki tingkat kekerasan urutan ketiga dan lebih tinggi dibandingkan dengan logam baja SS310. Unsur sulfur memiliki titik cair yang rendah dan rapuh. Kadar sulfur juga harus dijaga serendah mungkin dibawah 0,05%. Pada baja Low Alloy mengandung unsur sulfur sebesar 0,01% yang menggunakan uji XRF. Besar persentase unsur sulfur kurang dari 0,05%, sehingga unsur sulfur juga termasuk unsur yang menyebabkan baja Low Alloy menjadi kuat. Unsur silika (Si) membuat baja menjadi tidak kuat dan membuat baja menjadi semakin tidak stabil ketika semakin besar persentase kandungan silikonnya, sehingga harus dikondisikan persentase silika tidak lebih dari 3%. Logam SS310 memiliki persentase silika dibawah 2%, namun meski jumlah persentase silika tidak terlalu banyak tetapi unsur penguat baja tersebut kadarnya masih terlalu sedikit bahkan tidak mencapai 1%, sehingga sifat kekerasannya tidak maksimal.

d. Tingkat kekerasan pada baja 17-4PH

Baja 17-4PH merupakan salah satu baja paduan yang memiliki tingkat kekerasan yang cukup tinggi. Pengujian kekerasan pada baja dengan menggunakan alat uji *Rockwell* memberikan hasil tingkat kekerasan dari keempat sampel uji kekerasan logam 17-4PH menduduki posisi pertama dengan nilai kekerasannya sebesar 39,98 HRc, kemudian dikonversikan kedalam satuan *Brinell* sehingga logam 17-4PH memiliki tingkat kekerasan sebesar 371,5 skala satuan *Brinell*.

Hasil uji XRF menunjukkan bahwa unsur pada logam 17-4PH jika diurutkan dari persentase yang paling tinggi adalah $(75,5 \pm 0,4)\%$ Fe, $(15,4 \pm 0,1)\%$ Cr, $(4,07 \pm 0,03)\%$ Ni, $(3,49 \pm 0,09)\%$ Cu, $(0,59 \pm 0,03)\%$ Mn, $(0,27 \pm 0,01)\%$ Mo, $(0,240 \pm 0,008)\%$ Nb, $(0,150 \pm 0,009)\%$ V, dan $(0,10 \pm 0,03)\%$ Ti. Hasil uji OES pada logam 17-4PH adalah $(74,5 \pm 0,3)\%$ Fe, $(15,7 \pm 0,5)\%$ Cr, $(4,1 \pm 0,3)\%$ Cu, $(3,44 \pm 0,09)\%$ Ni, $(0,53 \pm 0,04)\%$ Si, $(0,42 \pm 0,04)\%$ Mn, $(0,35 \pm 0,03)\%$ Mo, $(0,2 \pm 0,2)\%$ C, $(0,15 \pm 0,03)\%$ S, $(0,12 \pm 0,02)\%$ Ca, $(0,102 \pm 0,005)\%$ V, $(0,1 \pm 0,1)\%$ P, $(0,08 \pm 0,04)\%$ Al, dan $(0,04 \pm 0,02)\%$ W.

Perpaduan antara unsur besi (Fe), nikel (Ni), krom (Cr), dan tembaga (Cu) merupakan perpaduan yang bisa meningkatkan sifat mekanik khususnya sifat kekerasan pada logam baja. Besi (Fe) sebagai unsur utama pembentuk baja memiliki jumlah persentase yang paling tinggi. Unsur krom dan nikel pada logam 17-4PH merupakan unsur

tertinggi kedua persentasenya dibandingkan dengan logam baja yang lain. Unsur krom dan nikel akan mulai bekerja secara maksimal dalam kondisi temperatur tinggi, semakin tinggi temperaturnya ikatan krom nikelnya akan semakin rapat sehingga logam baja akan semakin kuat dan keras. Keadaan ini didukung dengan adanya unsur karbon dan vanadium yang berperan sebagai unsur pembawa sifat keras pada baja. Logam 17-4PH memiliki unsur vanadium dan karbon dengan persentase tertinggi dibandingkan dengan keempat sampel logam lainnya.

Unsur lainnya seperti tembaga, titanium, dan niobium meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap korosi. Unsur mangan yang berfungsi untuk menjaga ketidakteraturan pada baja harus dikondisikan persentasenya dibawah 1%, pada logam baja 17-4PH kandungan mangan memiliki persentase paling sedikit diantara keempat sampel baja yakni berkisar pada persentase 0,59-0,42%. Hal inilah pula yang diasumsikan menjadi salah satu penyebab logam 17-4PH memiliki tingkat kekerasan nomor tertinggi diantara sampel baja yang lainnya. Unsur sulfur memiliki titik cair yang rendah dan rapuh. Kadar sulfur juga harus dijaga serendah mungkin dibawah 0,05%. Pada baja 17-4PH mengandung unsur sulfur sebesar 0,015% yang menggunakan uji OES. Besar persentase unsur sulfur kurang dari 0,05%, sehingga unsur sulfur ini pula yang menyebabkan baja 17-4PH menjadi baja paling kuat dan tidak mudah retak. Unsur silika (Si) menyebabkan baja menjadi tidak

kuat dan membuat baja menjadi semakin tidak stabil ketika semakin besar persentase kandungan silikonnya, sehingga harus dikondisikan persentase silika tidak lebih dari 3%. Logam 17-4PH memiliki persentase silika yang sangat kecil sehingga sifat kekerasannya menjadi semakin maksimal.

4. Pengaruh Unsur Pembawa Sifat Kekerasan pada Baja

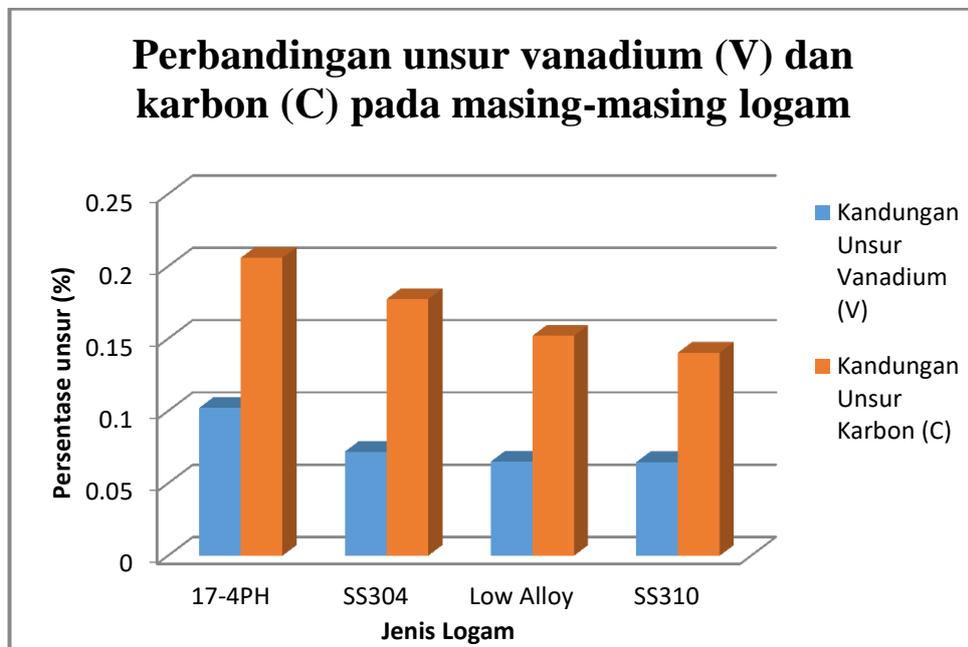
Berbagai variasi jenis unsur kimia pembentuk baja menimbulkan keberagaman sifat atau karakteristik pada baja. Begitu pula besar persentase unsur kimia tersebut juga mengakibatkan sifat yang berbeda-beda pula. Unsur-unsur pembawa sifat kekerasan pada baja diantaranya adalah: nikel (Ni), krom (Cr), vanadium (V), kobalt (Co), molibdenum (Mo), karbon (C), dan unsur wolfram (W).

Berdasarkan hasil pengamatan pada hasil pengujian menggunakan alat uji OES, unsur yang nilainya linier dengan urutan kekerasan logam sampel adalah unsur vanadium dan karbon. Kedua unsur tersebut merupakan unsur yang dikenal sebagai pembawa sifat kekerasan pada logam baja. Pada hasil uji menggunakan XRF kedua unsur tersebut tidak terdeteksi, sehingga data tersebut hanya didapat melalui pengujian OES. Sifat yang dibawa dari unsur tersebut sangat berpengaruh pada hasil perpaduan baja, sehingga menghasilkan baja yang kuat meski dengan persentase unsur yang sedikit.

Berikut nilai persentase unsur karbon dan vanadium yang telah dikolerasikan dengan tingkat kekerasan logam disajikan pada tabel 17.

Tabel 17. Perbandingan Unsur Vanadium dan Karbon pada Baja Sampel

Jenis Logam	Persentase kandungan Unsur (%)		Urutan tingkat kekerasan (satuan brinell)
	Vanadium (V)	Karbon (C)	
17-4PH	0,102	0,206	372
SS304	0,072	0,177	159
Low Alloy	0,065	0,152	141
SS310	0,064	0,141	123



Gambar 12. Grafik Perbandingan Unsur Vanadium dan Karbon

Hasil tabel 17 dan gambar 12, dapat diketahui bahwa persentase unsur karbon dan vanadium memiliki kolerasi dengan nilai kekerasan logam. Nilai kekerasan logam tertinggi yakni logam 17-4PH memiliki nilai persentase unsur vanadium dan karbon tertinggi. Kemudian urutan persentase unsur vanadium dan karbon diikuti oleh logam SS304, logam

low alloy, dan yang paling kecil adalah logam yang memiliki tingkat kekerasan paling rendah yakni logam SS310.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Hasil penelitian tentang identifikasi kandungan unsur logam menggunakan XRF dan OES sebagai penentu tingkat kekerasan baja paduan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Tingkat kekerasan logam dari sampel logam baja yang diteliti adalah baja 17-4PH memiliki tingkat kekerasan yang paling tinggi yakni 372 satuan *Brinell*, kemudian baja SS304 159 satuan *Brinell*, lalu baja Low Alloy 141 satuan *Brinell*, dan yang memiliki tingkat kekerasan yang paling rendah adalah baja SS310 sebesar 123 satuan *Brinell*.
2. Hasil identifikasi unsur menggunakan uji XRF menunjukkan bahwa unsur pada logam SS304 jenis dan persentase unsur yang terdeteksi adalah $(70,1 \pm 0,1)$ Fe, $(17,96 \pm 0,11)\%$ Cr, $(7,7 \pm 0,1)\%$ Ni, $(2,1 \pm 0,3)\%$ Si, $(1,32 \pm 0,12)\%$ Mn, $(0,41 \pm 0,03)\%$ Co, $(0,16 \pm 0,02)\%$ S, $(0,10 \pm 0,06)\%$ V, $(0,07 \pm 0,05)\%$ P, dan $(0,06 \pm 0,01)\%$ Mo. Hasil uji OES pada logam SS304 adalah $(70,4 \pm 0,9)\%$ Fe, $(19,4 \pm 0,4)\%$ Cr, $(7,0 \pm 0,2)\%$ Ni, $(1,6 \pm 0,2)\%$ Mn, $(0,6 \pm 0,2)\%$ Si, $(0,3 \pm 0,1)\%$ Ca, $(0,20 \pm 0,04)\%$ S, $(0,2 \pm 0,1)\%$ C, $(0,1 \pm 0,1)\%$ P, $(0,10 \pm 0,07)\%$ Mo, $(0,072 \pm 0,007)\%$ V, $(0,07 \pm 0,06)\%$ W, $(0,03 \pm 0,01)\%$ Cu, $(0,03 \pm 0,01)\%$ Al, dan $(0,014 \pm 0,005)\%$ Ti. Pada logam SS310 hasil uji XRF jenis dan persentase unsur yang terdeteksi adalah $(53,70 \pm 0,02)\%$ Fe, $(23,89 \pm 0,03)\%$ Cr, $(19,33 \pm 0,2)\%$ Ni, $(1,51$

$\pm 0,04$)% Mn, $(1,07 \pm 0,03)$ % Si, $(0,16 \pm 0,02)$ % V, dan $(0,110 \pm 0,005)$ % Mo. Hasil uji OES logam SS310 adalah (51 ± 5) % Fe, (29 ± 9) % Cr, (16 ± 7) % Ni, $(1,4 \pm 0,7)$ % Mn, $(1,3 \pm 0,9)$ % Si, $(0,3 \pm 0,3)$ % P, $(0,2 \pm 0,2)$ % Ca, $(0,18 \pm 0,06)$ % Mo, $(0,14 \pm 0,09)$ % C, $(0,14 \pm 0,05)$ % S, $(0,08 \pm 0,09)$ % Al, $(0,07 \pm 0,05)$ % V, $(0,06 \pm 0,06)$ % Ti, $(0,03 \pm 0,03)$ % Cu, $(0,02 \pm 0,02)$ % W, dan $(0,01 \pm 0,01)$ % Nb. Hasil uji XRF pada logam Low Alloy jenis dan persentase unsur yang terdeteksi adalah $(98,1 \pm 0,1)$ % Fe, $(0,95 \pm 0,03)$ % Cr, $(0,47 \pm 0,06)$ % Mn, $(0,49 \pm 0,02)$ % Mo, dan (0 ± 0) % Ni. Hasil uji OES pada logam Low Alloy adalah (95 ± 1) % Fe, (3 ± 2) % Si, $(1,1 \pm 0,2)$ % Cr, $(0,54 \pm 0,05)$ % Mn, $(0,4 \pm 0,3)$ % Cu, $(0,32 \pm 0,04)$ % Mo, $(0,27 \pm 0,06)$ % Ni, $(0,15 \pm 0,09)$ % C, $(0,2 \pm 0,2)$ % Al, $(0,12 \pm 0,03)$ % Ti, $(0,07 \pm 0,02)$ % V, $(0,05 \pm 0,05)$ % P, $(0,03 \pm 0,03)$ % Nb, dan $(0,004 \pm 0,008)$ % S. Hasil uji XRF pada logam 17-4PH jenis dan persentase unsur yang terdeteksi adalah $(75,5 \pm 0,4)$ % Fe, $(15,4 \pm 0,1)$ % Cr, $(4,07 \pm 0,03)$ % Ni, $(3,49 \pm 0,09)$ % Cu, $(0,59 \pm 0,03)$ % Mn, $(0,27 \pm 0,01)$ % Mo, $(0,240 \pm 0,008)$ % Nb, $(0,150 \pm 0,009)$ % V, dan $(0,10 \pm 0,03)$ % Ti. Hasil uji OES pada logam 17-4PH adalah $(74,5 \pm 0,3)$ % Fe, $(15,7 \pm 0,5)$ % Cr, $(4,1 \pm 0,3)$ % Cu, $(3,44 \pm 0,09)$ % Ni, $(0,53 \pm 0,04)$ % Si, $(0,42 \pm 0,04)$ % Mn, $(0,35 \pm 0,03)$ % Mo, $(0,2 \pm 0,2)$ % C, $(0,15 \pm 0,03)$ % S, $(0,12 \pm 0,02)$ % Ca, $(0,102 \pm 0,005)$ % V, $(0,1 \pm 0,1)$ % P, $(0,08 \pm 0,04)$ % Al, dan $(0,04 \pm 0,02)$ % W.

3. Unsur-unsur yang paling berpengaruh pada urutan tingkat kekerasan berdasarkan pengukuran pada suhu normal (suhu kamar) adalah unsur

karbon (C) dan vanadium (V). Semakin besar persentase kandungan unsur karbon dan vanadium, maka semakin besar pula tingkat kekerasannya. Pada logam 17-4PH yang memiliki tingkat kekerasan paling tinggi mengandung unsur karbon dan vanadium paling besar diantara keempat sampel yakni 0,206% dan 0,102%. Pada logam yang memiliki tingkat kekerasan paling rendah yakni SS310 mengandung unsur karbon dan vanadium yang paling rendah sebesar 0,141% dan 0,064%. Di sisi lain unsur-unsur yang mempengaruhi tingkat kelunakan baja diantaranya adalah sulfur (kandungan sulfur harus dijaga persentasenya di bawah 0,05%), silikon (persentasinya antara 0,1 - 0,3% karena jika kelebihan menyebabkan baja menjadi tidak kuat), dan unsur pospor (persentase maksimum fosfor adalah 0,05%). Pada baja 17-4PH memiliki kandungan unsur tersebut yang paling rendah dibanding keempat baja yang lainnya.

B. SARAN

Telah beranekaragam unsur-unsur yang terdeteksi pada suatu baja, namun belum dapat bekerja secara maksimal pada sifat kekerasan baja. Sampel baja sebaiknya dipanaskan terlebih dahulu hingga mencapai suhu yang tinggi untuk mengaktifkan unsur-unsur lain yang bekerja maksimal sebagai karakteristik mekanik baja khususnya pada sifat kekerasannya. Jika pengukuran tingkat kekerasan menggunakan suhu yang tinggi, tidak menutup kemungkinan akan terdapat unsur-unsur lain yang menjadi lebih aktif dan berperan dalam meningkatkan kekerasan logam baja.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, dkk. (1991). *DASAR METALURGI UNTUK REKAYASAWAN*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Amanto, H., & Daryanto. (2003). *ILMU BAHAN*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Amstead, B. H., Phillip F. O, & Myron L. B. (1997). *Teknologi Mekanik Jilid I Edisi Ketujuh Versi SI*. Jakarta: Erlangga.
- Dieter, G. E. (1993). *METALURGI MEKANIK Jilid 1 Edisi 3th*. (Terjemahan Sriati Djaprie). Jakarta: Erlangga.
- Doddi, Y. (2016). *Modul Praktikum Material Teknik*. Jurnal Gunadharma. Diakses dari doddi_y.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/27227/.pdf. Pada tanggal 6 Agustus 2017 jam 11.07 WIB.
- Fitri, I. (2016). Analisis Kandungan Mineral Logam Singkapan Batuan Dikawasan Pertambangan Mangan Desa Kumbewaha Kecamatan Siotapina Kabupaten Buton Dengan Menggunakan Metode X-RF. *Hasil Penelitian Universitas Haluoleo*. Kendari. Skripsi Universitas Haluoleo.
- Gosseau, D. (2009). *INTRODUCTION TO XRF SPECTROSCOPY*. Diakses dari <http://users.skynet.be/>. Pada tanggal 12 Januari 2018 jam 13.13 WIB.
- Jamaluddin, dkk. (2016). ANALISIS KANDUNGAN LOGAM OKSIDA MENGGUNAKAN METODE XRF (*X-RAY FLOURESCENCE*). *Jurnal Geofisika FMIPA Universitas Hasanuddin*. Diakses dari <http://repository.unhas.ac.id/handle/123456789/17783>. Pada tanggal 30 Januari 2018 jam 12.48 WIB.
- Masrukan, & Rosika. (2008). PERBANDINGAN HASIL ANALISIS BAHAN BAKAR U-ZR DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK XRF DAN SSA. *Jurnal BATAN*. (Volume 14 nomor 1 tahun 2008). Hlm 3.
- Masrukan, dkk. (2007). STUDI KOMPARASI HASIL ANALISIS KOMPOSISI PADUAN ALMGSI1 DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK X - RAY FLUOROCENCY (XRF) DAN EMISSION SPECTROSCOPY. *Jurnal Batan Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir*. Volume 13 (3) nomor 109-110 tahun 2007). Hlm 1.

- Marcos dkk (2011). Comparison of OES and XRF Performance for Pb and As Analysis in Environmental Soil Sampels. *Physical Review & Research Internasional*. 1(2): 29-44,2011.
- Morgan, B. (1995). The Importance of Realistic Representation of Design Features in The Risk Assessment of High-pressure Gas Pipeline. *Proceedings 5th International Conference and Exhibition Pipeline Reliability, Houston, Texas*.
- Nugraheni, T. N. dkk. (2014). UJI KEKERASAN MATERIAL DENGAN METODE ROCKWELL. *Jurnal Fisika Eksperimental Lanjut (Metode Rockwell)*. Universitas Airlangga Surabaya.
- Nusyirwan. (2001). PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN LOGAM PADA AKURASI HASIL UJI KEKERASAN DENGAN METODE INDENTASI. *Jurnal R & B*. Volume 1 Nomor 2. September 2001.
- PANalytical, B. V. (2009). *X-ray Fluorescence Spectrometry*. Diakses dari <http://www.panalytical.com/index>. Pada tanggal 12 Januari 2018 jam 13.07 WIB.
- Robbina, M. A. (2012). Perbandingan Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro Akibat Variasi Katalis Pada Proses Carburizing Baja S45C. *Hasil Penelitian Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang*. Semarang: Skripsi Universitas Negeri Semarang.
- Sanders, W. (2017). *What is Optical Emission Spectroscopy (OES)?*. Artikel ilmiah Hitachi-hightech.com.
- Setia, I, dkk. (2014). Analisis Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium (Mg) 2% da 5% Terhadap Ketangguhan Impak, Tingkat Kekerasan, dan Struktur Mikro Pada Velg Alumunium (Al-5,68 Si). Surakarta: UNS.
- Smallman, R. E., & Bishop, R. J. (2000). *METALURGI FISIK MODERN & REKAYASA METERIAL Edisi 6th*. (Terjemahan Sriati Djaprie). Jakarta: Erlangga.
- Sofyan, B. T. (2010). *PENGANTAR MATERIAL TEKNIK*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Sugiyono. (2010). *METODE PENELITIAN PENDIDIKAN Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

- Sumantry, T. (2002). APLIKASI XRF UNTUK IDENTIFIKASI LEMPUNG PADA KEGIATAN PENYIMPANAN LESTARI LIMBAH RADIOAKTIF. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VII*. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN. ISSN 1410-6086
- Surdia, T., & Shinroku, S. (1992). *PENGETAHUAN BAHAN TEKNIK*. Jakarta: Pradnya Paramita
- _____. (1990). *PENGETAHUAN BAHAN TEKNIK*. Jakarta: Pradnya Paramita
- Tucker, M. & Hardy R. (1991). *Techniques In Sedimentology*. Edited By Maurice Tucker. Blackwell Scientific Pub: London.
- Twyman, R. M. (2005). *Atomic Emission Spectrometry, Principles and Instrumentation*. Diakses dari <http://www.twymanrm.com>. Pada tanggal 30 Januari 2018 jam 11.47 WIB.
- Wahyuni, I., dkk. (2013). UJI KEKERASAN MATERIAL DENGAN METODE ROCKWELL. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Surabaya: Universitas Airlangga.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Skala perbandingan pada alat uji *Rockwell*, *Brinell*, dan *Vickers*

Skala <i>Rockwell</i> , <i>Brinell</i> , dan <i>Vickers</i>					
Vickers	<i>Brinell</i>	<i>Rockwell</i>			Tegangan tarik
		A	B	C	
85	81		41		
90	86		48		
95	90		52		
100	95		56.2		
110	105		62.3		
120	114		66.7		40
	118		69		
	119		69.4		
	120		69.8		
	121		70.2		
	122		70.6		
	123		71		
130	124		71.2		44
	125		71.8		
	126		72.2		
	127		72.6		
	128		73		
	129		73.4		
	130		73.8		
	131		74.2		
	132		74.6		
140	133		75		46
	134		75.4		
	135		75.8		
	136		76.2		
	137		76.6		
	138		77		
	139		77.4		
	140		77.8		
	141		78.2		
	142		78.6		
150	143		78.7		50
	144		79.4		
	145		79.8		
	146		80.2		

	148		80.6		
	150		81		
160	152		81.7	0	53
	155		82.2		
	156		82.6		
	157		83		
	158		83.4		
	159		83.8		
	160		84.2		
	161		84.6		
170	162		85	3	56
	163		85.4		
	164		85.8		
	165		86.2		
	166		86.6		
	169		86.9		
180	171		87.1	6	59
190	181		89.5	8.5	61
200	190		91.4	11	65
210	200		93.4	13.4	68
220	209		95	15.7	71
230	219		96.7	18	75
240	228	60.7	98.1	20.3	78
245	233	61.2		21.3	80
250	238	61.6	99.5	22.2	82
255	243	62		23.1	84
260	247	62.4	101	24	85
265	252	62.7		24.8	87
270	256	63.1	102	25.6	89
275	261	63.5		26.4	91
280	265	63.8	103.5	27.1	92
285	270	64.2		27.8	94
290	275	64.5	104.5	28.5	96
295	280	64.8		29.2	98
300	284	65.2	106.5	29.8	99
310	294	65.8		31	103
320	303	66.4	107	32.2	106
330	313	67		33.3	110
340	322	67.6	108	34.4	113

350	331	68.1		35.5	117
360	341	68.7	109	36.6	120
370	350	69.2		37.7	123
380	360	69.8	110	38.8	127
	365			39	
	366			39.2	
	367			39.4	
	368			39.6	
390	369	70.3		39.8	130
	370			40	
	372			40.2	
	374			40.4	
	376			40.6	
400	378	70.8		40.8	134
	380			41	
	382			41.2	
	384			41.4	
	386			41.6	
410	388	71.4		41.8	137
420	397	71.8		42.7	141
430	405	72.3		43.6	144
440	415	72.8		44.5	148
450	425	73.3		45.3	151
460	433	73.6		46.1	155
470	441	74.1		46.9	158
480	448	74.5		47.7	162
490	456	74.9		48.4	165
500	465	75.3		49.1	169
510	473	75.7		49.8	173
520	480	76.1		50.5	176
530	488	76.4		51.1	179
540	496	76.7		51.7	183
550	505	77		52.3	186

Dokumentasi pengambilan data uji kekerasan



Lampiran 2. Data hasil uji *X-Ray Fluorescence* (XRF) logam SS304 nilai *peak*, nama unsur, dan prosentasenya.





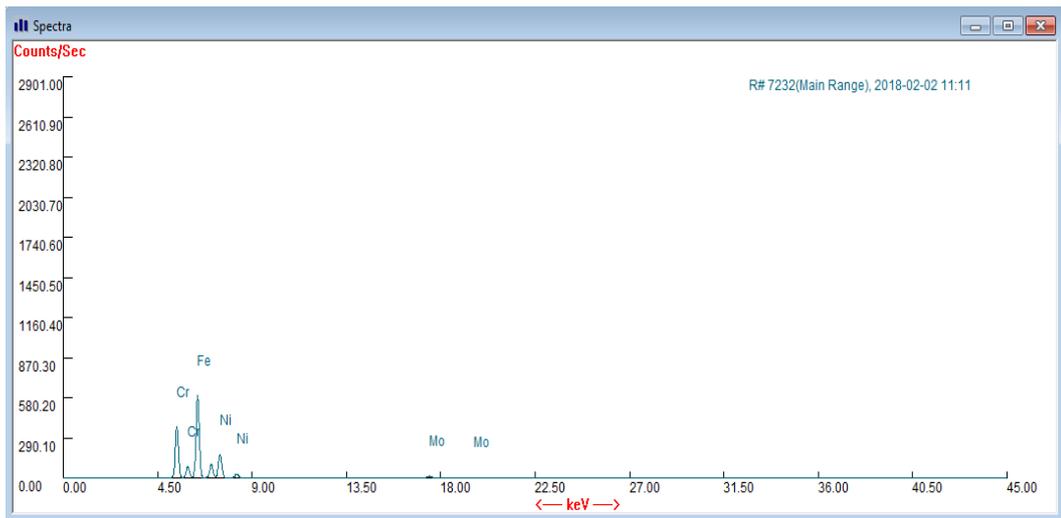
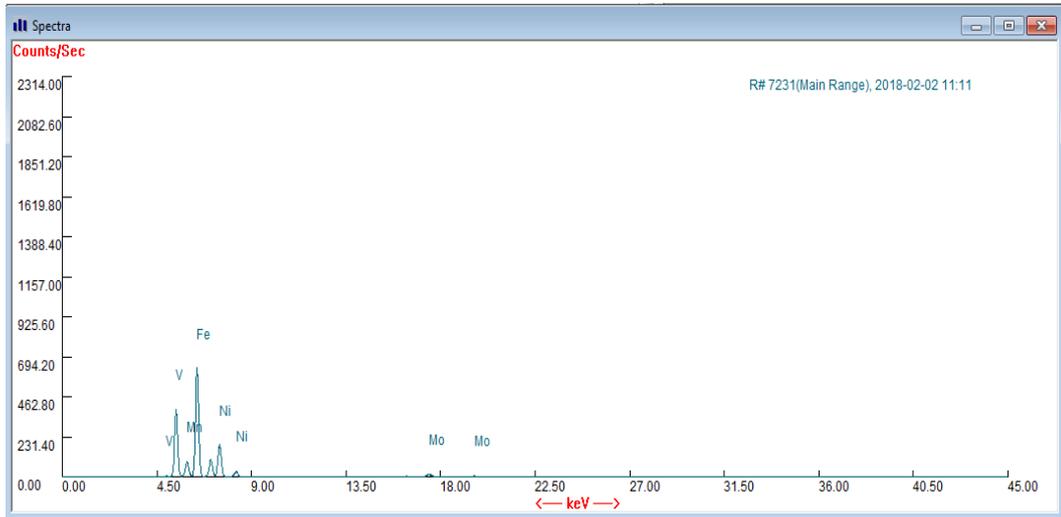
Data nilai *peak* pada masing-masing unsur logam SS304

Jenis Unsur	<i>Peak</i>			
	304. 01	304. 02	304. 03	Rata-rata
Ni	58.22	60.88	61.68	60.260
Fe	841.44	780.07	826.80	816.103
Mn	65.07	72.43	70.79	69.430
Cr	306.16	304.62	298.29	303.023
V	2.74	2.99	2.06	2.596
S	0.34	1.00	0.66	0.667
Si	0.34	1.00	0.66	0.667
P	1.03	0.66	0.66	0.783
Co	143.14	129.24	135.40	135.926
Mo	11.64	9.97	9.97	10.527

Data nilai persentase pada masing-masing unsur logam SS304

Jenis Unsur	Persentase Kandungan Unsur			
	304. 01	304. 02	304. 03	Rata-rata
Ni	7.59	7.87	7.66	7.703
Fe	70.12	70.24	69.96	70.109
Mn	1.33	1.38	1.24	1.317
Cr	17.94	17.99	17.96	17.960
V	0.07	0.13	0.11	0.101
S	0.19	0.16	0.13	0.161
Si	2.19	1.65	2.33	2.056
P	0.13	0.07	0.04	0.086
Co	0.38	0.45	0.38	0.407
Mo	0.07	0.04	0.07	0.062

Lampiran 3. Data hasil uji *X-Ray Fluorescence* (XRF) logam SS310 nilai *peak*, nama unsur, dan prosentasenya.



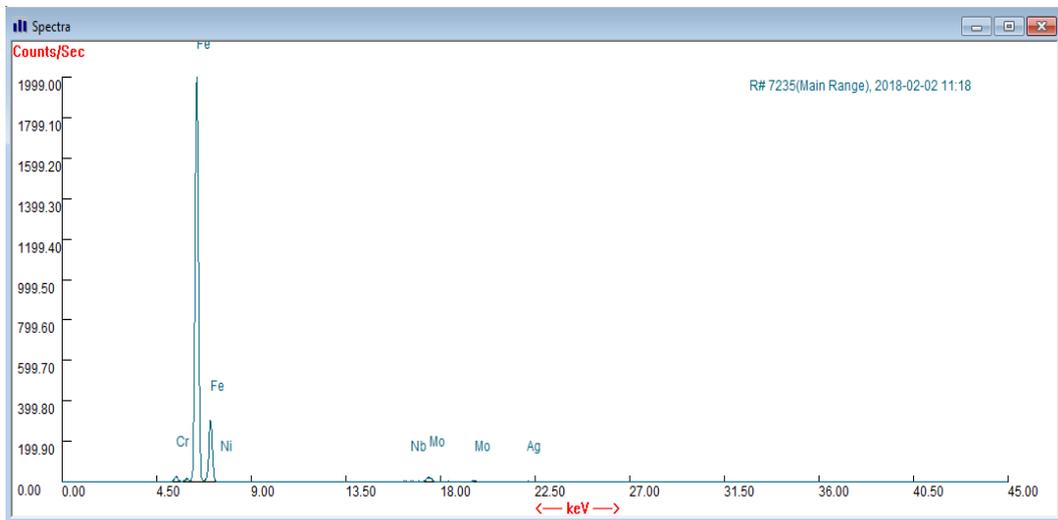
Data nilai *peak* pada masing-masing unsur logam SS310

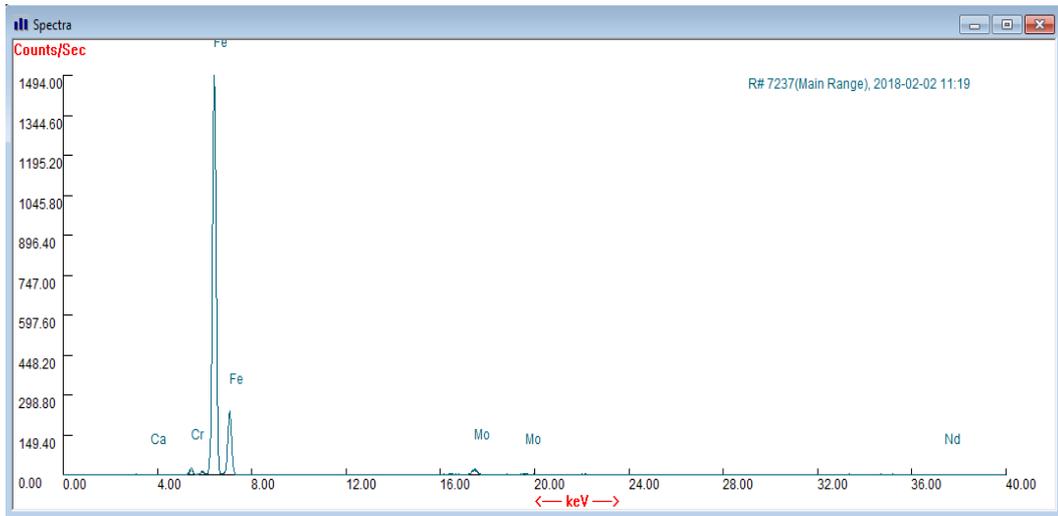
Jenis Unsur	<i>Peak</i>		
	310. 01	310. 02	Rata-rata
Mo	11.30	13.65	12.475
Ni	184.59	170.31	177.450
Fe	599.32	584.64	591.980
Mn	80.48	85.67	83.075
Cr	366.78	353.58	360.180
V	4.11	2.73	3.420
Si	1.03	0.68	0.855

Data nilai persentase pada masing-masing unsur logam SS310

Jenis Unsur	Persentase Kandungan Unsur		
	310. 01	310. 02	Rata-rata
Mo	0.12	0.11	0.113
Ni	19.56	19.13	19.325
Fe	53.69	53.72	53.703
Mn	1.47	1.55	1.512
Cr	23.92	23.87	23.896
V	0.18	0.14	0.163
Si	1.09	1.04	1.066

Lampiran 4. Data hasil uji *X-Ray Fluorescence* (XRF) nilai *peak*, nama unsur, dan prosentasenya pada logam Low Alloy.





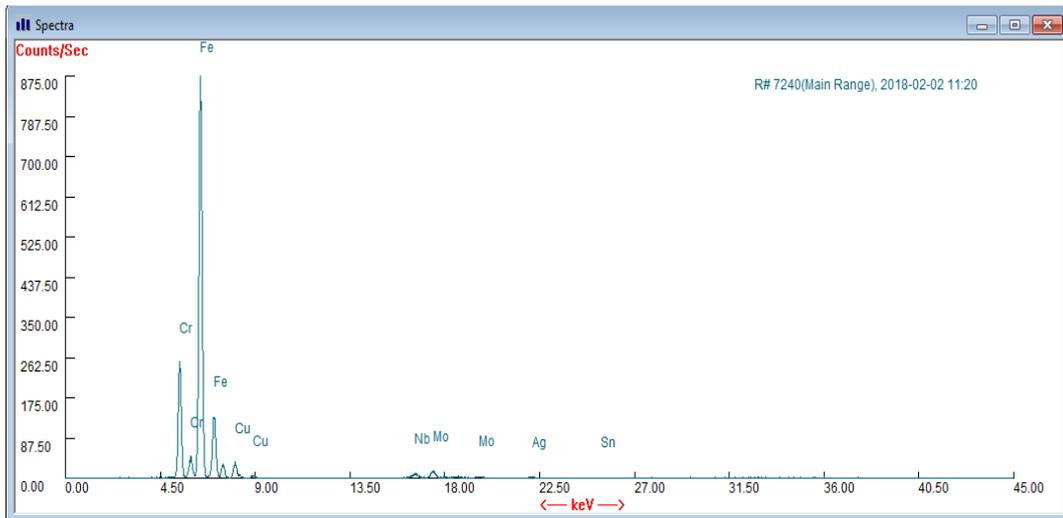
Data nilai *peak* pada masing-masing unsur logam Low Alloy

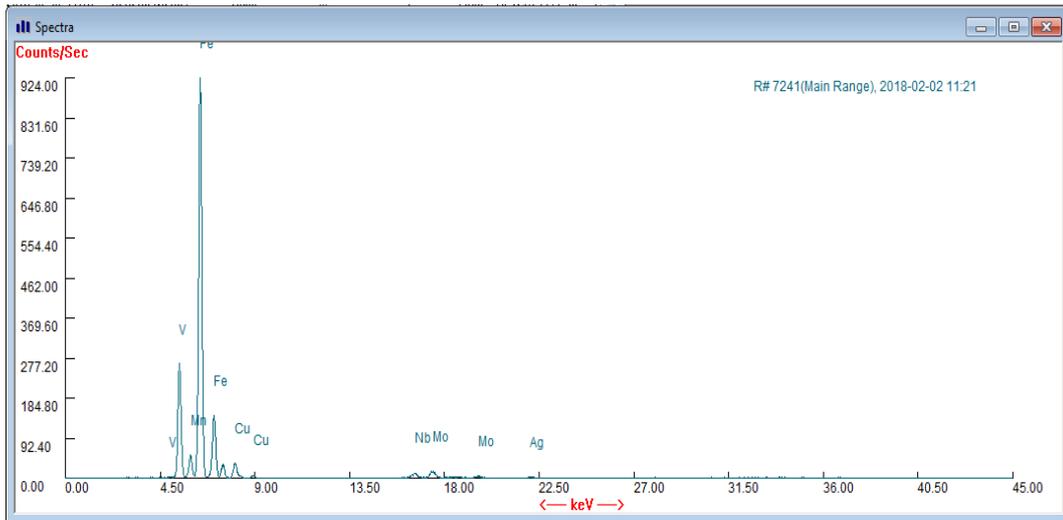
Jenis Unsur	<i>Peak</i>			
	Low Alloy. 01	Low Alloy. 02	Low Alloy. 03	Rata-rata
Mo	22.93	23.45	21.31	22.563
Ni	16.24	40.27	21.31	25.940
Fe	1942.04	1912.39	1418.03	1757.487
Mn	13.38	13.72	11.48	12.860
Cr	22.61	24.34	24.59	23.847

Data nilai persentase pada masing-masing unsur logam Low Alloy

Jenis Unsur	Persentase Kandungan Unsur			
	Low Alloy. 01	Low Alloy. 02	Low Alloy. 03	Rata-rata
Mo	0.41	0.46	0.51	0.459
Ni	0.08	0.09	0.09	0.088
Fe	95.56	98.15	97.94	97.214
Mn	0.47	0.54	0.38	0.466
Cr	0.92	0.93	0.98	0.945

Lampiran 5. Data hasil uji *X-Ray Fluorescence* (XRF) nilai *peak*, nama unsur, dan prosentasenya pada logam 17-4PH.





Data nilai *peak* pada masing-masing unsur logam 17-4PH

Jenis Unsur	<i>Peak</i>			
	17-4PH. 01	17-4PH. 02	17-4PH. 03	Rata-rata
Mo	14.37	14.38	16.15	14.966
Nb	11.64	10.00	11.34	10.993
Cu	32.53	28.75	31.62	30.966
Ni	28.77	30.63	27.15	28.850
Fe	866.10	825.00	898.97	863.356
Mn	50.34	48.13	52.92	50.463
Cr	245.89	240.00	258.42	248.103
V	3.08	3.13	3.78	3.330
Ti	1.37	1.88	1.03	1.426

Data nilai persentase pada masing-masing unsur logam 17-4PH

Jenis Unsur	Persentase Kandungan Unsur			
	17-4PH. 01	17-4PH. 02	17-4PH. 03	Rata-rata
Mo	0.28	0.25	0.28	0.267
Nb	0.25	0.23	0.24	0.242
Cu	3.37	3.52	3.59	3.491
Ni	4.03	4.09	4.09	4.073
Fe	74.86	75.89	75.61	75.454
Mn	0.55	0.59	0.63	0.591
Cr	15.52	15.26	15.36	15.382
V	0.15	0.15	0.13	0.146
Ti	0.14	0.08	0.08	0.102

Data nilai *peak* dan persentase unsur

Index	Reading ...	Time	Type	Duration	Units	Sigma Value	Sequence	Alloy1	Alloy2	Flags	SAMPLE
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

Sb	Sn	Cd	Pd	Ag	Ru	Mo	Nb	Zr	Bi	Pb	Se	Au	W	Zn	Cu	Ni	Co	Fe
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.072	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.567	0.379	70.124
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.044	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.866	0.454	70.241
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.072	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.077	7.656	0.389	69.963
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.115	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	19.525	0.000	53.686
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	19.126	0.255	53.719
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.966	0.375	69.936
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.266	0.000	71.482
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.407	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.000	95.557
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.457	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	98.148
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.513	0.068	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	97.939
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.498	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	98.134

Pb	Se	Au	W	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti	Al	S	P	Si	Mg	LEC
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.567	0.379	70.124	1.329	17.939	0.069	0.000	0.000	0.189	0.134	*2.195	0.000	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.866	0.454	70.241	1.382	17.986	0.125	0.076	0.000	0.162	0.000	1.646	0.000	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.077	7.656	69.963	1.241	17.956	0.111	0.000	0.000	0.131	0.075	*2.327	0.000	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	19.525	0.000	53.686	1.474	23.920	0.181	0.000	0.000	0.000	0.000	1.097	0.000	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	19.126	0.255	53.719	1.549	23.872	0.144	0.000	0.000	0.108	0.080	1.036	0.000	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.966	0.375	69.936	1.274	18.008	0.112	0.000	0.000	0.098	0.049	*2.181	0.000	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.266	0.000	71.482	1.224	18.335	0.143	0.000	0.000					0.550
0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.000	95.557	0.462	0.919	0.000	0.098	0.000	0.000	0.000	*2.463	0.000	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	98.148	0.470	0.922	0.000	0.000	0.000					
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	97.939	0.544	0.934	0.000	0.000	0.000					
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	98.134	0.385	0.981	0.000	0.000	0.000					

Lampiran 6. Data hasil uji *Optical Emission Spectroscopy* (OES) pada SS304

Measurement name : SS304						
Element	SS304 .4		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)

Lampiran 7. Data hasil uji *Optical Emission Spectroscopy* (OES) pada SS310

Measurement name : SS310						
Element	SS310 .4		SS310 .3	SS310 .2	SS310 .1	SS310 .0
Fe	54.33		53.69	51.67	55.25	41.80
C	0.069		0.192	(0.290)	(0.13)	(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)

Lampiran 8. Data hasil uji *Optical Emission Spectroscopy* (OES) pada Low Alloy

Measurement name : Low Alloy					
Element	Low Alloy .4	Low Alloy .3	Low Alloy .2	Low Alloy .1	Low Alloy .0
Fe	95.71	96.02	94.33	93.71	93.34
C	0.1396	(0.1750)	(0.1785)	(0.2671)	(0.000)
Si	1.376	1.003	2.175	(2.137)	(2.076)
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	0.05	0.05	0.05	0.085	0.09
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

Lampiran 9. Data hasil uji *Optical Emission Spectroscopy* (OES) pada 17-4PH

Measurement name : 17-4PH					
Element	17-4PH .4	17-4PH .3	17-4PH .2	17-4PH .1	17-4PH .0
Fe	74.66	74.09	74.43	74.28	74.97
C	0.072	0.077	0.085	0.108	(0.688)
Si	0.561	0.539	0.576	0.460	0.527
Mn	0.398	0.418	0.380	0.484	0.416
Cr	15.48	15.70	15.34	16.55	15.34
Ni	3.463	3.499	3.565	3.288	3.379
Mo	0.379	0.368	0.385	0.306	0.317
Cu	4.368	4.193	4.490	3.881	3.658
Al	0.030	0.070	0.072	0.078	0.145
V	0.103	0.105	0.105	0.105	0.093
W	0.045	0.064	0.044	0.048	0.007
Ca	0.111	0.110	0.092	0.122	0.151
S	(0.169)	(0.206)	(0.122)	(0.130)	(0.126)
P	0.000	0.256	0.000	0.000	0.158

Lampiran 10. Nilai rata-rata hasil uji *Optical Emission Spectroscopy* (OES) pada keempat sampel logam.

Unsur	Rata-rata Persentase Unsur (%)			
	17-4PH	Low Alloy	SS304	SS310
Fe	74.486	94.622	70.396	51.348
C	0.206	0.15204	0.1774	0.1362
Si	0.5326	2.5134	0.6252	1.2296
Mn	0.4192	0.541	1.5536	1.4354
Cr	15.682	1.1144	19.378	29.382
Ni	3.4388	0.2712	6.9726	15.485
Mo	0.351	0.3216	0.098	0.176
Cu	4.118	0.4178	0.0286	0.0258
Al	0.079	0.1506	0.028	0.081
V	0.1022	0.065	0.072	0.0648
W	0.0416	0	0.066	0.019
Ti	0	0.1212	0.0138	0.0634
Nb	0	0.0278	0	0.0114
B	0	0.0574	0	0
Ca	0.1172	0	0.3104	0.2274
S	0.1506	0.0042	0.1992	0.14
P	0.0828	0.0508	0.1382	0.257

Lampiran 11. Prosedur menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Prosedur Menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF)

1. Menyiapkan sampel logam yang akan diuji.
2. Masukkan kode logam uji ke dalam layar monitor yang telah terhubung XRF
3. Membersihkan logam dari korosi dengan menggunakan amplas grade 1500-200 dan autosol
4. Dekatkan logam ke mulut portable *X-Ray Fluorescence* (XRF) sampai mulutnya tertutup penuh dengan logam uji
5. Jalankan proses burning
6. Kemudian muncul unsur-unsur penyusun logam dan persentase unsur logam tersebut pada layar monitor.



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU
PENGETAHUAN ALAM

Alamat : Jalan Colombo Nomor 1 Yogyakarta 55281
Telepon 0274-586168 psw 217, 336, 0274-565411 Fax 0274-548203
Laman: fmipa.uny.ac.id E-mail: humas_fmipa@uny.ac.id

Nomor : 2/UN34.13/DT/Pen/2018
Lamp. : 1 Bendel Proposal
Hal : **Izin Penelitian**

19 Februari 2018

Yth . **PT PETROKIMIA GRESIK**
Jalan Jenderal Ahmad Yani, Gresik 61119 Indonesia

Kami sampaikan dengan hormat, bahwa mahasiswa tersebut di bawah ini:

Nama : Saedatul Fatimah
NIM : 14306141029
Program Studi : Fisika - S1
Judul Tugas Akhir : ANALISIS NILAI KEKERASAN MATERIAL LOGAM BAJA DENGAN METODE ROCKWELL AKIBAT VARIASI KANDUNGAN UNSUR LOGAM MENGGUNAKAN XRF (X-RAY FLUORESCENCE) DAN OES (OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY)
Tujuan : Memohon izin mencari data untuk penulisan Tugas Akhir Skripsi (TAS)
Waktu Penelitian : 19 Februari - 23 Maret 2018

Untuk dapat terlaksananya maksud tersebut, kami mohon dengan hormat Bapak/Ibu berkenan memberi izin dan bantuan seperlunya.

Demikian atas perhatian dan kerjasamanya kami sampaikan terima kasih.

Wakil Dekan I Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Slamet Suyanto, M.Ed.
NIP. 19620702 199101 1 001

Tembusan :
1. Sub. Bagian Pendidikan dan Kemahasiswaan ;
2. Mahasiswa yang bersangkutan.