

# PENGARUH VARIASI KANDUNGAN UNSUR LOGAM KARAKTERISASI MENGGUNAKAN XRF DAN OES SEBAGAI PENENTU TINGKAT KEKERASAN BAJA

## *THE EFFECT OF VARIATION METAL SUBSTANCE CHARACTERIZATION USING XRF AND OES TO DETERMINE THE HARDNESS OF A STEEL*

Oleh: Saedatul Fatimah<sup>1)</sup>, Ariswan<sup>2)</sup>

Program Studi Fisika, Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA UNY

<sup>1)</sup>[saedatul.fatimah29@gmail.com](mailto:saedatul.fatimah29@gmail.com), <sup>2)</sup>[ariswan@uny.ac.id](mailto:ariswan@uny.ac.id)

### 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). Sampel yang berbentuk lempengan tersebut kemudian diuji menggunakan metode pengujian *Rockwell* untuk mengetahui tingkat kekerasan baja sampel. 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 =  $(372 \pm 7)$  satuan *Brinell*, SS304 =  $(159 \pm 4)$  satuan *Brinell*, Low Alloy =  $(141 \pm 3)$  satuan *Brinell*, dan SS310 =  $(123 \pm 3)$  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, XRF dan OES

### Abstract

*This research aimed to identify substance concentration of alloy steel using XRF and OES in order to define the alloy 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. Sample was then tested using Rockwell method to determine the hardness of the steel. The result showed that hardness were different for different alloy 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 =  $(327 \pm 7)$ , SS304 =  $(159 \pm 4)$ , Low Alloy =  $(141 \pm 3)$ , and SS310 =  $(123 \pm 3)$ . 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, steel, XRF, and OES*

### PENDAHULUAN

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 terautomasi sehingga tidak diperlukan pengukuran jejak pada logam yang diuji. Pengukuran jejak indenter 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 bentuk 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 tarikannya (*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.

## **METODE PENELITIAN**

### **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).

**Waktu dan Tempat Penelitian**

Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan selama lima bulan dimulai pada bulan November 2017 s.d Maret 2018. Bertempat di laboratorium uji mekanik PT Petrokimia, Gresik, Jawa Timur dan di Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta.

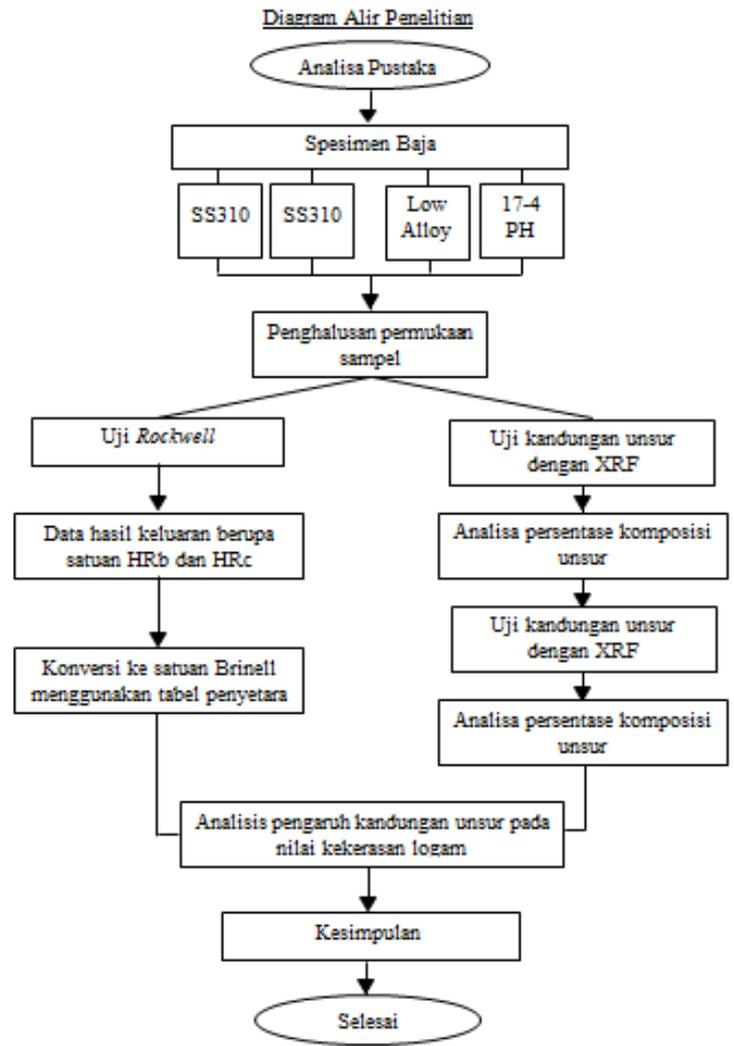
**Objek Penelitian**

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

**Prosedur Penelitian**

Prosedur penelitian ini adalah:

1. Tahap penentuan spesimen.
2. Tahap pengujian kekerasan dengan menggunakan *Rockwell*.
3. Tahap karakterisasi kandungan unsur kimia dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF).
4. Tahap karakterisasi kandungan unsur kimia pada baja dengan menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES)



**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 kandungan unsurnya.

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 kekerasa 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.

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Kekerasan secara umum merupakan ketahanan terhadap deformasi, dan untuk logam kekerasan merupakan ukuran ketahanan terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen

(Dieter, 1996: 328). Pengujian kekerasan pada sampel dilakukan dengan menggunakan sampel sebanyak 4 buah logam. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah SS304, SS310, Low Alloy dan 17-4PH. Pengujian yang dilakukan diantaranya adalah uji kekerasan, uji komposisi unsur meggunakan XRF, dan uji komposisi unsur dengan menggunakan OES.

**1. Hasil uji kekerasan menggunakan Rockwell**

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). Alat uji kekerasan yang digunakan adalah *Rockwell Hardness Test Machine* yang kemudian hasilnya dikonversikan ke dalam satuan *Brinell*. Berikut hasil data pengujian kekerasan seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian kekerasan logam baja dengan 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
$X_0 \pm \Delta X$	(159 ± 4)	(123 ± 3)	(141 ± 3)	(372 ± 7)

Hasil dari penyetaraan nilai kekerasan dari satuan *Rockwell* ke satuan *Brinell* diperoleh nilai rata-rata pada masing-masing logam baja. Logam SS304 memiliki tingkat kekerasan (159 ± 1) satuan *Brinell*, SS310 (123 ± 1) satuan *Brinell*,

Low Alloy ( $141 \pm 1$ ) satuan *Brinell*, dan 17-4PH memiliki nilai kekerasan ( $372 \pm 2$ ) satuan *Brinell*, berikut grafiknya.



Gambar 1. Nilai kekerasan pada logam baja

Berdasarkan gambar 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 1.

## 2. Hasil uji komposisi unsur

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). Karakterisasi unsur dilakukan sebanyak dua kali, yakni dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *Optical Emission Spectroscopy* (OES).

### a. X-Ray Fluorescence

Tabel 2. Hasil pengujian konsentrasi logam baja dengan menggunakan XRF

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

Data logam dan komposisi unsur menggunakan uji XRF kemudian dipresentasikan dalam bentuk grafik batang. Berikut grafik hasil uji komposisi pada logam sampel menggunakan XRF dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik hasil uji komposisi logam baja menggunakan XRF

Gambar diatas 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 pembanding antara satu logam uji dengan logam uji yang lain adalah presentase 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*).

**b. Optical Emission Spectroscopy**

Tabel 3. Hasil pengujian komposisi logam baja dengan menggunakan OES

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

Data logam dan komposisi unsur menggunakan uji OES kemudian direpresentasikan ke dalam bentuk grafik batang. Berikut grafik hasil uji komposisi pada logam sampel menggunakan OES dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik hasil pengujian kandungan unsur logam menggunakan 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 didalam baja. Untuk menguji kandungan bahan serta persentase unsur didalamnya digunakan dua buah alat penguji 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.

Tabel 2 menunjukkan bahwa ada delapan 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 2 menjelaskan 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 3 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 megantarkan logam baja menjadi baja yang kuat atau menjadi baja yang lunak.

Gambar 3 mempresentasikan adanya hubungan antara jenis unsur dengan persentasenya, kemudian dikolerasikan 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.

### 3. Pengaruh unsur pada logam

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 ). Berikut nama unsur beserta pengaruhnya dalam baja:

Tabel 4. Nama unsur dalam baja beserta pengaruhnya

Unsur	Pengaruh dalam baja
Ni	Unsur baja paduan, yang menjadikan keras kuat dan liat, pelindung permukaan baja, serta menimbulkan baja dengan kekuatan tarik tinggi.
Fe	Bahan utama baja
Mn	Sebagai unsur pengikat atau unsur tambahan
Cr	Unsur krom meningkatkan kekuatan tarik, menambah kekerasan, tahan korosi dan tahan suhu tinggi.
V	Menjadikan baja dengan kekerasan yang tinggi.
S	Unsur sulfur menyebabkan baja menjadi retak-retak. Kandungan sulfur harus dijaga serendah mungkin di bawah 0,05%.
Si	Silikon menyebabkan baja menjadi tidak kuat. Baja mengandung silikon sekitar 0,1-0,3%.
P	Jumlah kehadiran unsur fosfor di dalam baja dikontrol persentase maksimum sekitar 0,05%.
Co	Meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap korosi
Mo	Molybdenum meningkatkan kemampu kerasan, ketangguhan, kekuatan, ketahanan mulur, dan ketahanan korosi.
C	Meningkatkan kekerasan ( <i>hardness</i> ) dan kekuatan tariknya ( <i>tensile strength</i> ).
Cu	Memiliki <i>tensile strength</i> yang tinggi, tahan terhadap korosi, ulet, dan sifat mampu las yang tinggi ( <i>weldability</i> ).
Al	Bahan tambahan
W	Unsur Wolfram memberikan baja pada tingkat kekerasan yang tinggi.
Ti	Meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap korosi
Nb	Meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap korosi
Ca	Bahan tambahan

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 merupakan unsur yang 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 karbon dan vanadium juga berperan sebagai unsur pembawa sifat keras pada baja.

Berdasarkan tabel 4, unsur lainnya seperti tembaga, titanium, dan niobium berperan untuk meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap korosi. Unsur mangan yang berfungsi untuk menjaga ketidakteraturan pada baja harus dijaga persentasenya dibawah 1%. Unsur sulfur memiliki titik cair yang rendah dan rapuh. Kadar sulfur juga harus dijaga serendah mungkin dibawah 0.05%. 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%.

Berdasarkan hasil pengamatan pada hasil pengujian menggunakan alat uji OES dan XRF memberikan hasil nilai persentase yang berbeda-beda. Pengujian persentase unsur pada alat OES, gas yang digunakan dalam pengujian adalah gas argon. Fungsi gas argon adalah sebagai pendorong plasma setelah sampel dipanaskan pada ribuan derajat celcius, sedangkan pada alat XRF gas yang digunakan adalah sinar-X yang berfungsi sebagai pengekstasi elektron.

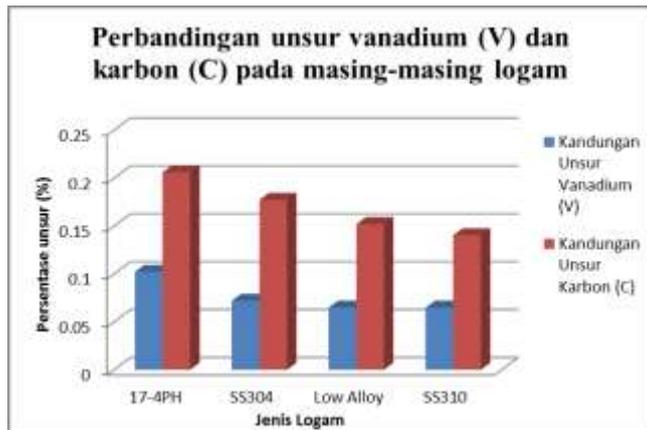
Berbagai variasi jenis unsur kimia pembentuk baja menimbulkan keberagaman sifat atau karakteristik pada baja. Begitu pula besar persentase unsur kimia tersebut juga mengakibatkan sifat yang berbeda-beda pula. Unsur-unsur pembawa sifat kekerasan pada baja diantaranya adalah: nikel (Ni), krom (Cr), vanadium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

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. Berikut data tabel hasil perbandingan unsur vanadium dan karbon disajikan pada tabel 5 dan gambar 4.

Tabel 5. Perbandingan unsur vanadium dan karbon pada masing-masing logam

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 4. Grafik perbandingan unsur vanadium dan karbon pada logam sampel

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.

Persentase unsur karbon dan vanadium memiliki korelasi 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.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Hasil penelitian tentang Pengaruh Variasi Kandungan Unsur Logam Karakterisasi Menggunakan XRF dan OES Sebagai Penentu Tingkat Kekerasan Baja, 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. 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.

### 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.
- Dieter, G. E. (1993). *Metalurgi Mekanik Jilid 1 Edisi 3<sup>th</sup>*. (Terjemahan Sriati Djaprie). Jakarta: Erlangga.
- 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.
- 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*.
- Smallman, R. E., & Bishop, R. J. (2000). *Metalurgi Fisik Modern & Rekayasa Meterial Edisi 6<sup>th</sup>*. (Terjemahan Sriati Djaprie). Jakarta: Erlangga.
- Sugiyono. (2010). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

Mengetahui,

Yogyakarta, Mei 2018  
Pembimbing,



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