

## Analisa Pengaruh Unsur Terhadap Kekerasan *High Manganese Steel* Menggunakan Metode Regresi Linier Berganda

Ervita Rahma Budiarti<sup>1\*</sup>, Budianto<sup>2</sup>, Nurvita Arumsari<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia<sup>1</sup>

Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.<sup>3</sup>

E-mail: ervitarahmabudiarti@gmail.com<sup>1\*</sup>

---

**Abstract** – *Apie Indo Karunia is one of the companies engaged in foundry located in Sidoarjo. This company is a company that works based on orders / orders from consumers (Make to Order). Products are made of metal casting processes, one of which is High Manganese Steel which has high manganese content. Each metal has a different level of hardness, depending on the type of metal itself. There are several factors that can affect the value of metal products. This content in the metal can produce a level of violence. Multiple Linear Regression Method to fix this problem. The first step is to input data, then determine what factors are mostly affect Multiple Regression. From the result of analyze we can know that carbon and posphor are have big impact to high manganese steel's hardness.*

**Keywords:** *Composition, High Manganese Steel, Multiple Regression*

---

### 1. PENDAHULUAN

Saat ini kebutuhan akan logam semakin meningkat. Biasanya logam digunakan sebagai material peralatan yang digunakan. Logam banyak digunakan dalam berbagai bidang, mulai dari pertanian hingga alat medis. Kandungan dan jenis logam yang digunakannya pun berbeda-beda sesuai dengan kegunaannya. Setiap jenis logam mempunyai kadar keuletan, kekerasan, dan kelenturan yang diperlukan juga berbeda-beda sesuai dengan jenis logam dan kegunaannya. Produk yang dihasilkan adalah barang-barang yang berbahan dasar logam seperti besi, baja, mangan, dan kuningan sesuai permintaan dari konsumen. Untuk menjaga kualitas barang yang dihasilkan maka perlu adanya antisipasi terhadap tingkat kekerasan yang terdapat dalam logam yang telah dicor tersebut. Berdasarkan kondisi saat ini maka perlu diukur kadar komposisinya dan di tes tingkat kekerasannya agar menghasilkan produk yang lebih berkualitas.

Berdasarkan data pesanan barang di perusahaan manufaktur sekitar 90% konsumen telah menetapkan kadar kekerasan untuk barang yang diminta. Sebenarnya komposisi logam, suhu penuangan, lama proses oven, serta proses pendinginan saat proses pengecoran berpengaruh pada tingkat kekerasan pada logam. Namun yang terjadi hingga kini adalah tingkat kekerasan yang didapat dari hasil pengecoran tidak sesuai dengan yang diminta oleh konsumen, sehingga harus kembali melakukan pengecoran guna memperbaiki kualitas agar didapatkan tingkat

kekerasan yang diinginkan. Adapun faktor lain yang berpengaruh adalah orang yang melakukan proses pemasakan atau peleburan logam hanya bekerja sesuai pengalaman yang didapat selama ini tanpa memiliki pengetahuan akan teori peleburan logam.

Pengecoran logam dapat diartikan proses dari logam yang dicairkan, dituangkan ke dalam cetakan, kemudian dibiarkan dingin dan membeku. Untuk mendapatkan hasil pengecoran dengan tingkat kekasaran dan kekerasan yang baik dengan proses pengecoran *sand casting* merupakan salah satu tujuan utama. Ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap hasil dari proses pengerjaan tersebut. Seperti perbedaan komposisi bahan paduan dan waktu peleburan aluminium serta waktu yang diperlukan untuk pendinginan benda kerja pada proses pengecoran *sand casting*. Dari beberapa faktor yang ada, maka muncul permasalahan bagaimana pengaruh komposisi bahan paduan dan waktu proses peleburan aluminium serta waktu proses pendinginan aluminium terhadap tingkat kekasaran dan kekerasan benda kerja pada proses pengecoran *sand casting*.

Logam memiliki susunan komposisi dalam kandungannya. Seperti halnya pada HMn atau *high manganese steel* yang memiliki kandungan Fe (Besi), C (Carbon), Si (Silikon), Mn (Mangan), P (Pospor), S (Sulfur), Cu (Tembaga), Ni (Nikel), Cr (Kromium), Mo (Molibdenum), dan Al (Aluminium). Komposisi yang terkandung dalam logam tersebut berpengaruh pada tingkat

kekerasan yang dimiliki oleh logam tersebut. Telah ditentukan kadar komposisi untuk setiap jenis logam sehingga memiliki tingkat kekerasan yang berbeda. (Gunawan, 2014)

Logam jenis HMn atau *high mangan steel* adalah logam yang memiliki tingkat keuletan yang tinggi namun belum bisa diprediksi kadar kekerasannya. Walaupun telah ditetapkan kadar unsur dalam komposisi pembentuk HMn, masih perlu dilakukan penelitian untuk mencapai tingkat kekerasan yang baik. Karena proses pembuatan logam harus melalui banyak tahapan sehingga banyak faktor –faktor yang memengaruhi kekerasan, maka perlu di cari faktor mana yang paling berpengaruh terhadap kekerasan logam. Berangkat dari masalah diatas maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui faktor apa saja yang mempengaruhi kekerasan logam dengan teknik regresi linier untuk mencari hubungan antara faktor- faktor yang mungkin berpengaruh terhadap kekerasan logam.

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan sampel *high manganese steel* ASTM A128 Tipe B-3 dan menggunakan regresi linier berganda untuk pengolahan data. Penerapan metode regresi berganda jumlah variabel bebas (independent) yang digunakan lebih dari satu yang mempengaruhi satu variabel tak bebas(dependent). (Supranto, 2000)

$$Y = \alpha + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_nX_n + \epsilon \quad (2.1)$$

a. Mencari nilai konstanta  $b_1, b_2, b_k$

Untuk mencari nilai  $b_1, b_2, b_k$  dapat dicari dengan mensubstitusikan ketiga persamaan di bawah ini dengan memasukkan hasil-hasil perhitungan skor deviasi di atas:

$$\sum Y = b_0n + b_1 \sum X_1 + b_2 \sum X_2 \quad (2.2)$$

$$\sum X_1Y = b_0 \sum X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1 X_2$$

$$\sum X_2Y = b_0 \sum X_2 + b_1 \sum X_1 X_2 + b_2 \sum X_2^2$$

b. Menentukan persamaan regresi dengan tiga variable bebas

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 \quad (2.3)$$

c. Uji Serentak

Pengujian serentak dilakukan untuk mengetahui apakah variabel-variabel independen secara serentak berpengaruh nyata atau tidak terhadap variabel respon. (Westfall, 2011)

$$F = \frac{R^2(n-k-1)}{k(1-R^2)} \quad (2.4)$$

d. uji individu

Pengujian koefisien secara individual adalah dengan melakukan uji signifikansi pada variabel. Pengujian statistik dilakukan dengan menghitung  $t_{hitung}$  melalui rumus berikut. (Rukismono, 2013)

$$t_{hitung} = \frac{b_i}{SE(b_i)} \quad (2.5)$$

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data dilakukan dengan mengikuti kegiatan proses pengecoran dan pencetakan *high manganese steel* untuk mendapatkan *sample*. Dalam proses pengecoran dibutuhkan komposisi yang sesuai dengan permintaan. Jika komposisinya masih belum sesuai maka perlu ditambahkan bahan – bahan yang diperlukan seperti nikel, crome, mangan, dll.

Tabel 1a: Data Komposisi dan Kekerasan

No	C	Mn	Si	P	HARDNESS
1	1,26	11,58	0,88	0,07	196 hb
2	1,24	11,68	0,34	0,06	182 hb
3	1,15	11,6	0,35	0,04	139 hb
4	1,16	11,71	1	0,06	163 hb
5	1,23	11,74	0,7	0,05	167 hb
6	1,15	12,46	1	0,03	140 hb
7	1,21	11,79	0,4	0,05	154 hb
8	1,23	12,26	0,88	0,06	166 hb
9	1,24	12,24	0,6	0,06	174 hb
10	1,25	12,07	0,75	0,07	188 hb
11	1,21	12,43	1	0,03	154 hb
12	1,26	11,58	0,67	0,07	202 hb
13	1,21	12,48	1	0,04	157 hb
14	1,21	11,96	0,77	0,04	162 hb
15	1,23	12,4	0,88	0,07	170 hb
16	1,24	11,5	0,67	0,07	179 hb
17	1,25	11,57	0,66	0,067	185 hb
18	1,23	11,68	1	0,07	171 hb
19	1,21	11,79	0,4	0,05	154 hb
20	1,24	12,24	0,6	0,06	174 hb
21	1,21	12,23	0,55	0,051	155 hb
22	1,23	12,6	0,9	0,06	163 hb
23	1,24	12,4	0,85	0,067	181 hb
24	1,21	13	0,75	0,04	159 hb
25	1,23	12,48	1	0,05	167 hb
26	1,21	11,9	0,59	0,05	159 hb
27	1,23	12,12	0,49	0,05	163 hb
28	1,16	11,75	0,55	0,03	140 hb
29	1,24	11,84	1	0,05	181 hb
30	1,23	12,4	0,88	0,07	170 hb
31	1,2	11,5	0,67	0,06	176 hb
32	1,26	13,24	0,58	0,06	193 hb
33	1,24	11,57	0,66	0,057	182 hb
34	1,21	11,5	0,34	0,05	179 hb
35	1,2	11,6	1,91	0,06	168 hb
36	1,12	11,3	0,57	0,03	136 hb
37	1,15	11,79	1,88	0,04	151 hb
38	1,2	11,71	1	0,05	160 hb
39	1,16	12,24	0,98	0,05	171 hb
40	1,15	11,7	0,7	0,04	164 hb

Tabel 1b: Data Komposisi dan Kekerasan (lanjutan)

No	C	Mn	Si	P	HARDNESS
41	1,13	11,5	0,55	0,041	152 hb
42	1,12	11,46	1	0,02	137 hb
43	1,2	12,6	0,9	0,05	160 hb
44	1,2	11,26	0,88	0,05	163 hb
45	1,2	11,5	0,85	0,057	178 hb
46	1,13	11,5	1	0,02	146 hb
47	1,15	13	0,75	0,03	156 hb
48	1,18	12,73	0,81	0,05	178 hb
49	1,2	10,48	1	0,04	164 hb
50	1,23	12,07	0,75	0,06	185 hb
51	1,16	11,6	0,59	0,04	156 hb
52	1,16	11,43	1	0,02	151 hb
53	1,2	12,12	0,49	0,04	160 hb
54	1,28	13,99	0,67	0,06	199 hb
55	1,12	11,5	0,55	0,02	137 hb
56	1,14	11,5	1	0,03	154 hb
57	1,12	11,75	1	0,04	178 hb
58	1,12	11,96	0,77	0,03	159 hb
59	1,27	11,8	0,61	0,06	213 hb
60	1,37	12,4	0,88	0,06	167 hb

Persamaan tersebut dijadikan ke dalam bentuk matriks

$$\begin{pmatrix} 22,47233 & -16,4889 & -0,35637 & -0,44453 & 40,52677 \\ -16,4889 & 18,70077 & -0,33239 & 0,278689 & -45,7431 \\ -0,35637 & 0,33239 & 0,061621 & -0,00289 & 0,433072 \\ -0,44453 & 0,278689 & -0,00289 & 0,209833 & -0,44803 \\ -0,44453 & -45,7431 & 0,433072 & -0,44803 & 96,6374 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 30,6274 \\ 79,30194 \\ 0,678003 \\ -0,92051 \\ 672,5952 \end{pmatrix}$$

Maka didapatkan hasil  $b_1 = 79,30194$ ,  $b_2 = 0,678003$ ,  $b_3 = -0,92051$ , dan  $b_4 = 672,5952$ ,  $b_0 = 30,6274$  untuk model persamaan regresi. Sehingga persamaannya sebagai berikut:

$$Y = 30,6 + 79,3 X_1 + 0,68 X_2 - 0,92 X_3 + 673 X_4$$

Dengan besar koefisien determinasi atau R Squared sebagai berikut,

$$R^2 = \frac{79,3(12046,88) + 0,68(119598,4) - 0,92(7875,24) + 673(501,869)}{1679136} = 0,814$$

Dari hasil perhitungan R Squared diatas disimpulkan bahwa pemodelan yang digunakan sudah sesuai karena memiliki persentase sebesar 0,814%. Artinya variabel bebas mampu menjelaskan keragaman dari variabel respon sebesar 81,4% dimana sisanya 18,6% dijelaskan oleh faktor lain atau eror.

### Pengujian Koefisien Regresi Secara Serentak

- $H_0$  : Semua variabel bebas tidak mempunyai pengaruh terhadap variabel respon
- $H_1$  : Paling tidak ada satu variabel bebas yang mempunyai pengaruh terhadap variabel respon

$$F = \frac{0,814(60 - 4 - 1)}{4(1 - 0,814)} = 20,73$$

Penolakan  $H_0$  terjadi jika nilai  $F_{hitung} > F_{tabel}$  yang berarti bahwa variabel carbon, mangan, silikon, atau pospor mempengaruhi kadar kekerasan logam. Dapat disimpulkan bahwa dari perhitungan didapatkan nilai  $F_{hitung}$  sebesar 20,73, dengan menggunakan  $\alpha$  sebesar 10% maka  $F_{tabel}$  sebesar 2,18 maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima sehingga variabel bebas model dapat diterima dan ada variabel yang mempengaruhi kekerasan.

### Pengujian Koefisien Regresi Secara Individual

- $H_0 : \beta_1 = 0 ; i = 1,2,...,k$  ( $\beta_1$  tidak memiliki pengaruh terhadap variabel respon)
- $H_1 : \beta_1 \neq 0 ; i = 1,2,...,k$  ( $\beta_1$  tidak memiliki pengaruh terhadap variabel respon)

Tabel 2: Perhitungan T Manual

No	Uji	Koefisien	SE	$t_{hitung}$	Keputusan
1	$t_{carbon} (b_1)$	79,30194	47,0	1,69	$H_0$ ditolak
2	$t_{mangan} (b_2)$	0,678003	2,70	0,25	$H_0$ diterima
3	$t_{silikon} (b_3)$	-0,92051	4,98	-0,18	$H_0$ diterima
4	$t_{posphor} (b_4)$	672,5952	152	4,41	$H_0$ ditolak

Syarat ditolak  $H_0$  adalah ketika  $|t_{hitung}| > t_{tabel}$  maka dengan menggunakan nilai  $\alpha$  sebesar 10%  $t_{tabel}$  sebesar 1,297. Sehingga dari perhitungan  $|t_{hitung}|$  dan ditolaknya  $H_0$  dapat diketahui bahwa variabel yang berpengaruh pada kekerasan logam adalah carbon posphor.

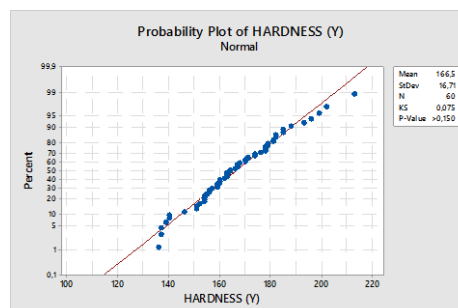
### Uji Asumsi Klasik

#### Uji Normalitas

Pengujian normalitas dengan dengan metode komogrov-smirnov dengan hipotesis sebagai berikut,

- $H_0$  : Residual terdistribusi normal
- $H_1$  : Residual tidak terdistribusi normal

Dengan menggunakan nilai  $\alpha$  sebesar 0,10 maka hasil uji normalitas dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Grafik Uji normalitas

Dari grafik sebelumnya, diketahui bahwa residual berada di sekitar garis linier berarti data bersifat normal dan terdistribusi secara merata. Hal ini dapat diketahui pada nilai P-value yang bernilai >0,150, maka nilai P-value lebih besar dari  $\alpha$  sehingga data residual sudah memenuhi asumsi distribusi normal.

#### Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi adalah untuk melihat apakah terjadi korelasi antara suatu periode ke periode setelahnya dengan runtun waktu. Pada kasus ini dengan banyak data sebanyak 60 sampel, menggunakan nilai  $\alpha$  sebesar 0,10, dan jumlah variabel bebas sebanyak 4 maka melalui tabel Durbin-Watson didapat nilai batas bawah (dL) dan batas atas (dU) sebesar 1.47965 dan 1.68891. Perhitungan menggunakan Minitab mendapatkan nilai uji Durbin-Watson sebesar 1,53776. Apabila  $dL < d < dU$  maka pengujian tidak dapat disimpulkan. Dari hasil uji Durbin-Watson tersebut dapat diketahui bahwa tidak terjadi autokorelasi.

#### Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas bertujuan untuk melihat apakah antar variabel X memiliki korelasi. Syarat variabel bebas korelasi adalah apabila nilai VIF < 10.

Dari hasil uji multikolinearitas dari setiap variabel X dapat diketahui bahwa semua variabel X yaitu carbon, mangan, silikon, dan posphor memiliki nilai VIF < 10 yang berarti tidak ada multikorelasi antar variabel X.

#### Uji Heteroskedastisitas

Tujuan dari uji heteroskedastisitas adalah untuk menguji apakah terjadi ketidaksamaan varians dalam model regresi dari satu pengamatan ke pengamatan lainnya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan Uji Glejser.

Dari pengujian melalui Uji Glejser tersebut menunjukkan bahwa koefisien parameter untuk semua variabel prediktor yang digunakan tidak memiliki signifikansi pada tingkat  $\alpha = 10\%$  atau 0,10. Hal ini terlihat dari probabilitas signifikansinya diatas 10%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi heteroskedastisitas.

#### Tingkat Pengaruh Antar Variabel X Terhadap Variabel Y

Pengujian dilakukan untuk melihat seberapa besar pengaruh yang dihasilkan oleh variabel terhadap variabel respon. Pengukuran nilai didapat dari besaran R-Sq.

$$\rho A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% = \frac{SS_A - (V_A \times V_e)}{SS_T}$$

1. Variabel  $X_1$  atau unsur C terhadap Variabel Y Untuk mencari pengaruh variabel prediktor  $X_1$  terhadap kekerasan menggunakan rumus:

$$\rho A = \frac{336,3 - (1 \times 55)}{16466,9} \times 100\% = 17,08 \%$$

Dari hasil analisis diatas dapat diketahui bahwa kadar pengaruh variabel  $X_1$  dari persentasi kontribusi regresi sebesar 17,08. Unsur carbon memiliki pengaruh sebesar 17,08% terhadap kekerasan *high manganese steel*.

2. Variabel  $X_2$  atau unsur Mn terhadap Variabel Y Untuk mencari korelasi pengaruh variabel prediktor  $X_2$  terhadap kekerasan menggunakan rumus:

$$\rho B = \frac{7,5 - (1 \times 55)}{16466,9} \times 100\% = 0,29 \%$$

Dari hasil analisis diatas dapat diketahui bahwa kadar pengaruh variabel  $X_1$  dari persentasi kontribusi regresi sebesar 0,29. Unsur manganese memiliki pengaruh sebesar 0,29% terhadap kekerasan *high manganese steel*.

3. Variabel  $X_3$  atau unsur Si terhadap Variabel Y Untuk mencari korelasi pengaruh variabel prediktor  $X_3$  terhadap kekerasan menggunakan rumus:

$$\rho C = \frac{4 - (1 \times 55)}{16466,9} \times 100\% = 0,31 \%$$

Dari hasil analisis diatas dapat diketahui bahwa kadar pengaruh variabel  $X_1$  dari persentasi kontribusi regresi sebesar 0,31. Unsur silikon memiliki pengaruh sebesar 0,31% terhadap kekerasan *high manganese steel*.

4. Variabel  $X_4$  atau unsur P terhadap Variabel Y Untuk mencari korelasi pengaruh variabel prediktor  $X_4$  terhadap kekerasan menggunakan rumus:

$$\rho D = \frac{2300,6 - (1 \times 55)}{16466,9} \times 100\% = 13,63 \%$$

Dari hasil analisis diatas dapat diketahui bahwa kadar pengaruh variabel  $X_1$  dari persentasi kontribusi regresi sebesar 13,63. Unsur pospor memiliki pengaruh sebesar 13,63% terhadap kekerasan *high manganese steel*.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kandungan komposisi yang berpengaruh terhadap kekerasan *high manganese steel* ASTM A128 tipe B-3 adalah carbon dan posphor. Tidak ada autokorelasi dan multikorelasi diantara variabel prediktor yang berarti bahwa antar variabel prediktor saling tidak memiliki hubungan terhadap kekerasan.

2. Tingkat kadar pengaruh pada carbon sebesar 46,24% dan phosphor sebesar 57,91% terhadap kekerasan logam sehingga phosphor memiliki pengaruh lebih besar terhadap kekerasan *high manganese steel* dibandingkan dengan carbon.

[11] Westfall, dkk. (2011). **Multiple Comparisons and Multiple Tests Using SAS, Second Edition**. SAS Institute, USA.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Annual Book of ASTM Standars, 2002, ASTM A128 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [2] Cholis dkk. (2014). *Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium (Mg) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Pengecoran Aluminium*. **Jurnal Pendidikan**. Universitas Indonesia, Jakarta
- [3] Ghozali, I. (2011). *Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program SPSS*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
- [4] Gunawan. (2014). *Analisa Pengaruh Unsur Kekerasan Logam Menggunakan Teknik Desain Eksperimen Di PT. Apie Indo Karunia*. Universitas Maarif Wachid Hayim, Sidoarjo.
- [5] Karyono, T., Budianto, B., dan Pamungkas, R. G. (2017). *Analisis Tehnik Pencegahan Korosi Pada Lambung Kapal Dengan Sistem Pencegahan KCP Dibandingkan Dengan SACP*. **Jurnal Pendidikan Profesional**, Vol 6 No. 1 Hal. 7-17. Yayasan Pendidikan Perintis, Malang.
- [6] Ponco, dkk. (2016). *Pengaruh Unsur Silikon Pada Aluminium Alloy (Al – Si) Terhadap Sikap Mekanis Dan Struktur Mikro*. **Jurnal Poros**, Vol 14 No. 1 Hal. 49-56. Universitas Tarumanegara, Jakarta.
- [7] Purnawibawa, R. (2016). *Analisis Kandungan Unsur dan Tingkat Kekerasan Pada Senjata Logam Koleksi Museum Tosan Aji Purworejo*. **Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur**, Vol 10, No 2, Hal 31-39. Universitas Indonesia, Jakarta.
- [8] Rukismono, S. (2013). *Pengaruh Sikap Pimpinan, Lingkungan Kerja, dan Sikap Rekan Kerja Terhadap Kinerja Karyawan Universitas Widya Kartika Surabaya*. **Jurnal Eco-Teknologi UWIKA (eJETU)**, Vol. 1, pp. 29-35. Universitas Widya Kartika, Surabaya
- [9] Solechan, dkk. (2012). *Peningkatan Sifat Mekanik Material Ring Piston Bekas Sepeda Motor Supra X Dengan Proses Heat Treatment*. **Jurnal Unimus**. Universitas Muhammadiyah, Semarang.
- [10] Supranto, Johanes. (2000). **Statistik**. Erlangga, Jakarta.

