

## **PENGGUNAAN PETA KENDALI MULTIVARIAT, FUZZY AHP DAN PERANCANGAN EKSPERIMEN DALAM MENGENDALIKAN DAN MEMPERBAIKI MUTU PROSES PRODUKSI PELAT TIMAH PT NLA**

**Asep Ridwan**

*Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon*  
Jl. Jend. Sudirman Km. 3 Cilegon, Banten 42435  
*E-mail: asep.ridwan@untirta.ac.id*

**Putro Ferro Ferdinant**

*Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon*  
Jl. Jend. Sudirman Km. 3 Cilegon, Banten 42435  
*E-mail: oom\_pheo@yahoo.com*

**Chyntia Devi Octaviany**

*Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon*  
Jl. Jend. Sudirman Km. 3 Cilegon, Banten 42435

### **ABSTRAK**

PT NLA merupakan perusahaan yang bergerak dalam memproduksi pelat timah ternama di Indonesia. PT NLA berusaha memproduksi pelat timah yang bermutu sesuai dengan permintaan pelanggan. Beberapa karakteristik mutu dalam memproduksi pelat timah, yaitu : berat *coating*, berat *alloy*, dan berat *chrome*. Penelitian ini bertujuan mengendalikan mutu produk pelat timah dengan menggunakan peta kendali multivariat  $T^2$  Hotelling dan merancang perbaikan dengan perancangan eksperimen. Penelitian dimulai dengan mengukur kestabilan proses menggunakan peta kendali multivariat  $T^2$  Hotelling. Kemudian data yang tidak terkendali dicari akar penyebabnya dengan Diagram Fishbone dan dilakukan pembobotan penyebab terbesar dengan fuzzy AHP. Rancangan perbaikan untuk mencari nilai yang optimal dengan perancangan eksperimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses produksi pelat timah PT NLA belum terkendali sehingga perlu dilakukan metode dekomposisi untuk mengetahui karakteristik mutu penyebab proses produksi tidak terkendali. Faktor – faktor penyebab dominan yang dihasilkan adalah kurang pengontrolan kecepatan, *setting* arus belum terintegrasi semua dan regenerasi pH air masih manual dengan bobot sebesar 0.156. Hasil dari perancangan eksperimen menghasilkan kondisi optimal dalam proses produksi pelat timah dengan kecepatan mesin sebesar 275 m/s, pH air *demineralized* sebesar 4, dan arus listrik sebesar 500 A. Peta kendali multivariat dan perancangan eksperimen dapat mengendalikan dan memperbaiki mutu proses produksi suatu produk.

*Kata Kunci: Peta kendali Multivariat  $T^2$  Hotelling, Perancangan Eksperimen, Fuzzy AHP, Dekomposisi,*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Mutu adalah salah satu hal penting untuk keberhasilan baik dalam bidang bisnis maupun industri yang mempunyai arti derajat atau tingkat baik buruknya suatu produk maupun jasa. Kualitas diutamakan karena kualitas merupakan nilai jual dari suatu barang atau jasa. Suatu produk dipengaruhi oleh beberapa karakteristik kualitas. PT NLA merupakan perusahaan yang memproduksi pelat timah. Kualitas pada pelat timah yang diproduksi PT NLA dapat dilihat melalui karakteristik kimia yang terdiri kadar atau berat timah (*coating*), berat *alloy* dan berat *chrome*. Strategi produksi dari PT NLA adalah *make to order* yang berarti perusahaan memproduksi pelat timah berdasarkan *order* atau permintaan dari konsumen dengan berbagai spesifikasi yang diminta dan diperlukan bagi konsumen berdasarkan ketebalan lapisan *coating* dari pelat timah. Pada kenyataannya produksi pelat timah tidak selalu sesuai dengan *order* konsumen. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengendalian mutu pelat timah agar mengetahui apakah proses produksi pelat timah pada PT NLA sudah terkendali atau tidak. Penelitian dengan peta kendali T<sup>2</sup> hotelling telah dilakukan oleh (Fitriyana, 2015; Abdullah, dkk., 2015; Costa, dkk., 2015; Lestari, dkk.). Sedangkan penelitian tentang fuzzy AHP telah dilakukan oleh (Kristyanto, 2015 dan Annisa dkk., 2016). Sementara itu penelitian dengan menggunakan metode perancangan eksperimen telah dilakukan oleh (Sandi dkk., 2017 dan Ridwan dkk., 2018) Penelitian ini bertujuan mengintegrasikan peta kendali T<sup>2</sup> hotelling, fuzzy AHP, dan perancangan eksperimen dalam mengendalikan dan memperbaiki mutu proses produksi

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan terkendali atau tidak dengan peta kendali multivariat T<sup>2</sup> Hotelling.
2. Menentukan karakteristik kualitas penyebab proses produksi tidak terkendali.

manusia memakai bahasa atau linguistik. Bilangan triangular fuzzy disimbolkan dan berikut ketentuan fungsi keanggotaan untuk skala variabel linguistik.

Menurut Sudjana (1994) Desain eksperimen atau perancangan eksperimen adalah suatu rancangan percobaan (dengan setiap langkah tindakan yang benar-benar terdefiniskan) sedemikian rupa sehingga informasi yang berhubungan dengan atau yang

5. Perlakuan *treatment*

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan integrasi peta kendali multivariat T<sup>2</sup> Hotelling, Fuzzy AHP, dan Perancangan Eksperimen. Penelitian ini dimulai dari melihat apakah proses produksi pelat timah pada PT NLA sudah terkendali atau belum berdasarkan peta

3. Menentukan faktor penyebab proses tidak terkendali diagram *fishbone*.
4. Melakukan pembobotan untuk menentukan faktor tertinggi penyebab proses dengan fuzzy AHP.
5. Merancang usulan perbaikan dengan perancangan eksperimen.

Menurut Montgomery (1995) Peta kendali T<sup>2</sup> Hotelling merupakan peta kendali yang digunakan jika dalam suatu proses pengendalian bersama-sama dengan karakteristik kualitas yang dilakukan pemeriksaan lebih dari satu. Peta kendali T<sup>2</sup> Hotelling digunakan apabila kedua karakteristik atau lebih secara teknis memiliki sifat yang dependen atau diduga berhubungan. Peta kendali T<sup>2</sup> Hotelling mempunyai dua versi yaitu peta kendali T<sup>2</sup> Hotelling untuk data subgroup dan peta kendali T<sup>2</sup> Hotelling untuk pengamatan individual.

Diagram *fishbone* atau diagram sebab akibat adalah suatu pendekatan terstruktur yang memungkinkan dilakukan suatu analisis lebih terperinci dalam menemukan penyebab-penyebab suatu masalah, ketidaksesuaian, dan kesenjangan yang terjadi (Nasution, 2010 dalam Nadiah, 2013). Faktor-faktor penyebab utama ini dapat dikelompokkan dalam (Ilham, 2012) :

1. *Material* (bahan baku)
2. *Machine* (mesin)
3. *Man* (tenaga kerja)
4. *Method* (metode)
5. *Environment* (lingkungan).

Fuzzy AHP merupakan representasi dan eksistensi dari AHP dengan mengkombinasikannya dengan teori himpunan fuzzy. Konsep fuzzy yang dipakai dalam pengembangan fuzzy AHP ini adalah *triangular fuzzy number* (TFN). *Triangular fuzzy number* (TFN) merupakan teori himpunan fuzzy membantu dalam pengukuran yang berhubungan dengan penilaian subjektif

diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan. Sudjana menyatakan bahwa terdapat beberapa hasil yang perlu diperhatikan dalam desain eksperimen yaitu : (Sandi, 2017)

1. Unit Eksperimen
2. Pengacakan (Randomisasi)
3. Replikasi
4. Kekeliruan eksperimen

kendali multivariat T<sup>2</sup> Hotelling. Apabila diketahui bahwa proses produksi tidak terkendali maka akan di analisa akar penyebab masalahnya dengan menggunakan diagram *fishbone* dan diurutkan prioritas penyebab terbesar dengan menggunakan fuzzy AHP. Prioritas penyebab tertinggi tersebut kemudian akan dilakukan perbaikan dengan menggunakan perancangan eksperimen.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Peta Kendali T<sup>2</sup> Hotelling Fase I**

1. Menghitung *Vector Mean*

$$\bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i$$

$$\bar{X} = \frac{1}{100} 267,30$$

$$\bar{X} = 2,67$$

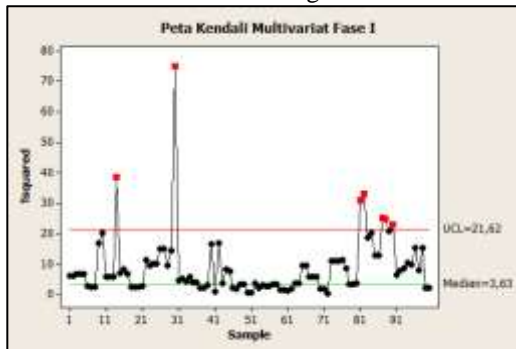
2. Menghitung Matriks Kovariansi

$$S = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x})$$

$$S = \begin{bmatrix} S_{11}^2 & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22}^2 & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33}^2 \end{bmatrix}$$

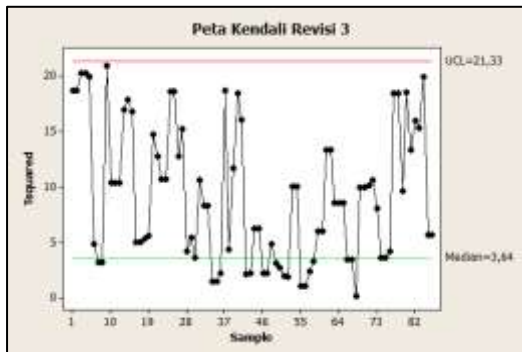
$$S = \begin{bmatrix} 0,0084 & 0,0016 & 0,0038 \\ 0,0016 & 0,0076 & 0,0028 \\ 0,0038 & 0,0028 & 0,019 \end{bmatrix}$$

3. Peta Kendali T<sup>2</sup> Hotelling Fase I



**Gambar 1. Peta Kendali Multivariat T<sup>2</sup> Hotelling Fase I**

Dari gambar tersebut terdeteksi adanya data yang berada diluar batas sebanyak 7 data yaitu pada data ke-14, 30, 81, 82, 87, 88 dan 90. Selanjutnya akan dilakukan revisi dengan menghilangkan data tersebut.



**Gambar 2. Peta Kendali Multivariat T<sup>2</sup> Hotelling Fase I Revisi 3**

Dari gambar tersebut diketahui bahwa semua data telah berada dalam batas kendali, sehingga dapat dilanjutkan ke tahap peta kendali T<sup>2</sup> Hotelling fase II dengan menggunakan *vector mean* dan matriks kovariansi pada revisi 3 fase I

**3.2 Peta Kendali T<sup>2</sup> Hotelling Fase II**

1. Menghitung *Vector Mean*

$$\bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i$$

$$\bar{X} = \frac{1}{80} 228,39$$

$$\bar{X} = 2,656$$

2. Menghitung Matriks Kovariansi

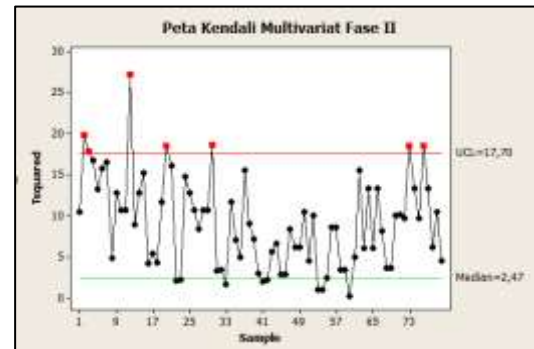
$$S = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x})$$

$$S = \begin{bmatrix} S_{11}^2 & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22}^2 & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33}^2 \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} 0,00527 & 0,00024 & 0,00073 \\ 0,00024 & 0,00588 & 0,00045 \\ 0,00073 & 0,00045 & 0,00986 \end{bmatrix}$$

3. Peta Kendali T<sup>2</sup> Hotelling Fase I

4. I



**Gambar 3. Peta Kendali Multivariat T<sup>2</sup> Hotelling Fase II**

Dari gambar tersebut terdeteksi adanya data yang berada diluar batas sebanyak 7 data yaitu pada data ke-2, 3, 12, 20, 30, 73 dan 76. Pada pengendalian dengan peta kendali T<sup>2</sup> Hotelling tidak dapat menentukan variabel atau karakteristik mana yang menyebabkan data diluar batas.

Jika nilai  $d_1^2 > X_{(\alpha,1)}^2$  maka dapat disimpulkan bahwa variabel ke - i adalah penyebab *out of control*. Dimana nilai  $X_{(0,05,1)}^2 = 3,84$ . Melalui tabel tersebut dapat diketahui dari 7 data yang berada diluar batas *chrome* menjadi variabel penyebab sebanyak 6, *alloy* menjadi variabel penyebab sebanyak 4 dan *coating* menjadi variabel penyebab sebanyak 3. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semua karakteristik kualitas menjadi penyebab *out of control*.

**3.3 Fuzzy AHP**

1. Penentuan Rasio Konsistensi Kriteria

Menghitung nilai *Consistency Ratio* dengan n = 4 dan RI = 0,90 dengan rumus sebagai berikut :

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$$= \frac{0,0192}{0,9}$$

$$= 0,0213$$

Karena nilai  $CR \leq 10\%$  maka dapat dikatakan bahwa matriks berpasangan untuk kriteria disimpulkan konsisten.

2. Pembobotan Kriteria  
Perhitungan pembobotan dimulai dari perhitungan *fuzzy synthetic extent*

**Tabel 1. Fuzzy Synthetic Extent Kriteria**

	<b>l</b>	<b>m</b>	<b>u</b>
S	0.	0.	
1	140	288	0.572
S	0.	0.	
2	110	201	0.382
S	0.	0.	
3	243	466	0.867
S	0.	0.	
4	029	045	0.095

Contoh Perhitungan :  
*Fuzzy synthetic extent* S1 terhadap l  

$$= \sum_{j=i}^m M \otimes \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M \right]^{-1}$$

$$= (7.111 \times \frac{1}{50.837})$$

$$= 0.140$$

Kemudian dilakukan perbandingan tingkat kemungkinan antar *fuzzy synthetic extent* dengan nilai minimumnya.

**Tabel 2. Perbandingan Nilai Fuzzy Synthetic Extent Kriteria**

	S		S	S4≥
	S1≥	2≥	3≥	
S1		0,734	1,000	0,000
S2	1,000		1,000	0,000
S3	0,649	0,344		0,000
S4	1,000	1,000	1,000	
<b>min</b>	<b>0,649</b>	<b>0,344</b>	<b>1,000</b>	<b>0,000</b>

Contoh Perhitungan :  
(S2 ≥ S1)  

$$= \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}$$

$$= \frac{(0.14 - 0.382)}{(0.201 - 0.382) - (0.288 - 0.14)}$$

$$= 0.734$$

Kemudian dilakukan perhitungan bobot dan normalisasi vektor bobot sehingga diketahui nilai bobot kriteria utama.

**Tabel 3. Normalisasi Vektor Bobot Kriteria**

	<b>W'</b>	<b>W</b>
S	0.65	0.33
O	0.34	0.17
D	1.00	0.50
E	0.00	0.00

Contoh Perhitungan :  
Normalisasi S (W)  

$$= \frac{W'}{\sum W'}$$

$$= \frac{0.65}{0.65+0.34+1+0}$$

$$= 0.33$$

Dari tabel normalisasi vektor bobot kriteria dapat diketahui bobot *severity* sebesar 0.33, bobot *occurence* sebesar 0.17, bobot *detectability* sebesar 0.5 dan bobot *expected cost* sebesar 0. Oleh karena itu bobot tertinggi untuk kriteria adalah kriteria *detectability* dengan bobot sebesar 0.5.

3. Penentuan Rasio Konsistensi Alternatif  
Menghitung nilai *Consistency Ratio* dengan n = 9 dan RI = 1,45 dengan rumus sebagai berikut :

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$$= \frac{0,109}{1,45}$$

$$= 0,0753$$

Karena nilai  $CR \leq 10\%$  maka dapat dikatakan bahwa matriks berpasangan untuk alternatif disimpulkan konsisten.

4. Pembobotan Alternatif  
Perhitungan pembobotan dimulai dari perhitungan *fuzzy synthetic extent*

**Tabel 4. Fuzzy Synthetic Extent Alternatif**

	<b>l</b>	<b>m</b>	<b>u</b>
S1	0.055	0.160	0.421
S2	0.063	0.153	0.375
S3	0.014	0.031	0.092
S4	0.099	0.229	0.522
S5	0.022	0.057	0.156
S6	0.021	0.049	0.127
S7	0.030	0.081	0.227
S8	0.041	0.126	0.344
S9	0.040	0.114	0.321

Contoh Perhitungan :  
*Fuzzy synthetic extent* S1 terhadap l  

$$= \sum_{j=i}^m M \otimes \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M \right]^{-1}$$

$$= (13.95 \times \frac{1}{251.54})$$

$$= 0.055$$

Kemudian dilakukan perhitungan bobot dan normalisasi vektor bobot sehingga diketahui nilai bobot kriteria utama.

**Tabel 51. Normalisasi Vektor Bobot Alternatif**

	<b>W'</b>	<b>W</b>
A	1	0.156
B	1	0.156
C	0	0
D	1	0.156
E	0.451	0.07
F	0.276	0.043
G	0.75	0.117
H	0.997	0.155
I	0.945	0.147

Contoh Perhitungan :  
Normalisasi A (W)  

$$= \frac{W'}{\sum W'}$$

$$= \frac{1}{1+1+\dots+0.945}$$

$$= 0.156$$

Dari tabel normalisasi vektor bobot alternatif dapat diketahui bobot A sebesar 0.156, bobot

B sebesar 0.156, bobot C sebesar 0, bobot D sebesar 0.156, bobot E sebesar 0.07, bobot F sebesar 0.043, bobot G sebesar 0.117, bobot H sebesar 0.155 dan bobot I sebesar 0.147. Oleh karena itu bobot tertinggi untuk alternatif adalah alternatif A (Kecepatan kurang dikontrol), alternatif B (*Setting* arus belum terintegrasi semua) dan alternatif D (Regenerasi pH air masih manual) dengan bobot sebesar 0.156.

**3.4 Desain Eksperimen**

1. Penentuan Faktor dan Level

Faktor ditentukan berdasarkan bobot terbesar pada fuzzy AHP.

**Tabel 62. Faktor dan Level**

Faktor	Level
Kecepatan (Faktor A)	250 m/s
	275 m/s
pH air (Faktor B)	4
	5
Arus (Faktor C)	500 A
	510 A

2. Penentuan Variabel Bebas dan Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah jumlah pelat timah yang tidak sesuai (*downgrade*), sedangkan variabel bebas pada penelitian ini adalah kecepatan (faktor A), pH air (faktor B), arus (faktor C).

3. Penentuan Jumlah Replikasi dan Jumlah Eksperimen

Jumlah *treatment* =  $2^3 = 8$

Derajat kebebasan (dk) = 15

Sehingga replikasi (r)

$(t-1)(r-1) \geq 15$

$(8-1)(r-1) \geq 15$

$7r - 7 \geq 15$

$7r \geq 22$

$r \geq 3,14 \approx 4$

setelah diketahui jumlah replikasi, maka dapat diketahui jumlah eksperimen yang akan digunakan sebagai berikut :

jumlah eksperimen

=  $a \times b \times c \times r$

=  $2 \times 2 \times 2 \times 4$

= 32 eksperimen

4. Penyelesaian Eksperimen

Penyelesaian eksperimen dilakukan dengan *analysis of variance* (ANOVA) untuk mendapatkan nilai F hitung yang akan dibandingkan dengan nilai F tabel

**4. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses produksi pelat timah belum terkendali karena masih ada beberapa data yang diluar

batas pada fase II yaitu pada data ke 2, 3, 12, 20, 30, 73 dan 76.

2. Berdasarkan 7 data yang berada di luar batas *chrome* menjadi variabel penyebab sebanyak 6, *alloy* menjadi variabel penyebab sebanyak 4 dan *coating* menjadi variabel penyebab sebanyak 3 sehingga dapat diketahui bahwa semua variabel menjadi penyebab proses produksi tidak terkendali.
3. Faktor penyebab proses produksi tidak terkendali terdiri dari :
  - a. Faktor manusia adalah terlambat mengubah *setting* arus
  - b. Faktor metode adalah pH air *demineralized* fluktuatif yang disebabkan regenerasi pH air masih manual.
  - c. Faktor mesin meliputi jumlah arus aktual yang tidak sesuai , jumlah arus yang tidak optimal dan kecepatan tidak sesuai
  - d. Faktor lingkungan yaitu suhu lingkungan yang tinggi
  - e. Faktor material meliputi konsentrasi Sodium Dikromat tidak sesuai, konsentrasi larutan *Phenol Sulphonic Acid* tidak sesuai dan pH larutan fluktuatif yang disebabkan karena pengecekan yang masih manual.
4. Pembobotan dengan menggunakan fuzzy AHP didapatkan bobot sebesar 0.156 untuk kecepatan kurang dikontrol, *setting* arus belum terintegrasi semua, dan regenerasi pH air masih manual.
5. Usulan perbaikan yang dapat dilakukan adalah dengan mengatur kecepatan mesin sebesar 275 m/s, arus yang dihantarkan sebesar 500 A dan pH air *demineralized* yang digunakan sebesar 4.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Abdullah, Muhammad Hilman Rizki, dkk. (2015). Penerapan Diagram Kontrol Multivariat T<sup>2</sup> Hotelling pada Proses Produksi Kaca. Semarang. *Jurnal Gaussian*. Vol.4 No. 3.
2. Annisa, Rossi. (2016). Identifikasi Penyebab Potensial Stoplevel Electrolytic Tinning Line Menggunakan Multi Attribute Failure Mode Analysis *Skripsi*. Cilegon: Untirta.
3. Costa, Mafalda, dkk. 2015 *Application of Hotelling's T2 Charts in Monitoring Quality Parameters in a Drinking Water Supply System*. Portugal. AIP Publishing.
4. Fitriyana, Fina. dkk., 2015. Pengendalian Kualitas pada Produk Baja CQ2MP dengan Peta Kendali Multivariat T<sup>2</sup> Hotelling pada Divisi Cold Rolling Mill (CRM) PT. XYZ. *Skripsi*. Cilegon: Untirta.
5. Ilham, Muhammad Nur. (2012). Analisis Pengendalian Kualitas Produk dengan Menggunakan Statistical Processing Control (SPC) Pada PT. Bosowa Media Grafika (Tribun

- Timur). *Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Hasanuddin*.
6. Montgomery, Douglas C. (1995). *Pengantar Pengendalian Proses Statistik (Edisi Ke-3)*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
  7. Kristiyanto, Raka, dkk. 2015. Analisis Risiko Operasional Pada Proses Produksi Gula Dengan Menggunakan Metode Multi-Attribute Failure Mode Analysis (Mafma) (Studi Kasus : Pg. Kebon Agung Malang). Malang. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri* Vol. 3 No. 3.
  8. Nadiyah, Zazilatun. (2013). Analisis Pengendalian Mutu SQC (*Statistical Quality Control*) pada PT. Eastern Pearl Flour Mills Makassar: Universitas Hasanuddin.
  9. Lestari, Puji. (2016). Usulan Kadar Karbon dan Pengendalian Kualitas dengan Diagram Kontrol T<sup>2</sup> Hotelling Pada Kualitas Produk Baja BJTP 32 (Studi Kasus PT. XYZ). *Skripsi*. Cilegon: Untirta.
  10. Ridwan, A., Ferdinant, P. F., dan Aldiandru, R. (2018). Perancangan Perbaikan Lean Six Sigma dalam Proses Produksi Baja Tulangan dengan Integrasi Value Stream Mapping dan Design of Experiment. *Jurnal Industrial Services*. Vol.3 No.2.
  11. Sandi, Sandria. Ulfah, Maria dan Ferdinant, Putro Ferro. (2017). Usulan Perbaikan Kualitas Produk Pipa Baja Las Spiral Menggunakan Metode Six Sigma Berdasarkan *Design of Experiment (DOE)* di PT XYZ. *Jurnal Teknik Industri*. Vol 5 No 1.
  12. Sudjana, S.H. (1994). *Desain dan Analisa Eksperimen (Edisi 3)*. Bandung. Tarsito.