

## Simulasi Pengendalian Kualitas Pengaruh Deformasi Material *Condenser Tube* terhadap Proses *Tube Expanding Waterbox Condenser* (Studi Kasus di PT. BBI Pasuruan)

Aditya Wahyu Pratama, Slamet Wahyudi, Purnomo Budi Santoso  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang  
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia  
E-mail: pratamaaditya53@gmail.com

### Abstract

*Leakage tube after tube expanding process is still occurred in PT. BBI Pasuruan due to imperfect material deformation. Material deformation cause by a change in material form due to external forces such as temperature, friction force, compressive force, and the torque style. Deform 3D was used in this investigation to determine the material deformation processes. Taguchi method design of experiment was also used to minimize the bad cause of the poor performance is also influenced by several variables or factors on the characteristics of the desired quality. The results shows that the combination to prevent deformation of the material in the condenser tube are the friction between the tool and the tube expander of 0.787 inch, the material used is stainless steel ASTM A 249 grade 2, tube expanding process temperature optimum of 89.6°F, and expander velocity of 0.708 inches per second.*

**Keywords:** *Taguchi method, design of experiment, tube expanding, material deformation*

### PENDAHULUAN

Peningkatan atau perbaikan kualitas dapat dicapai dengan cara pengendalian kualitas yang tepat. Alat pengendalian kualitas yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode Taguchi *Design of Experiment* (DOE). Metode Taguchi DOE merupakan alat pengendalian kualitas produk dan efisiensi proses. Metode ini dapat mengurangi sejumlah eksperimen yang dibutuhkan dengan mengambil beberapa faktor yang mempengaruhi eksperimen tersebut. Dengan demikian DOE menjadi alat perbaikan kualitas yang dapat dipertahankan dan berkelanjutan. DOE merupakan alat eksperimental yang membantu untuk meneliti dan memperbaiki sebuah parameter proses, kuantitas yang berubah, tingkat dan kombinasi untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal [1].

Produksi *waterbox Condenser* merupakan salah satu hal yang paling vital dalam rangkaian project pembangunan

sebuah sistem pembangkit listrik, khususnya sistem pembangkit listrik tenaga uap. *Waterbox condenser* adalah sebuah alat *heat exchanger* pada sebuah sistem pembangkit yang berfungsi untuk pendinginan, mengkondensasi uap panas dari turbin uap menjadi air kembali. Maka diperlukan pengendalian kualitas yang lebih optimal dari suatu proses produksi *waterbox condenser* [2].

Pada salah satu proses produksi *waterbox condenser*, yaitu proses *tube expanding*, sering terjadi kerusakan atau kegagalan proses yang diakibatkan oleh deformasi material *condenser tube* tersebut, sehingga menyebabkan *waterbox condenser* tersebut mengalami kebocoran pada saat beroperasi. Deformasi yang terjadi adalah deformasi plastis dimana material mengalami perubahan bentuk yang kurang sempurna karena adanya gaya *expanding* tube yang kurang optimal [3].

Sehingga diperlukan adanya simulasi penelitian dalam memecahkan masalah

tersebut. Penelitian dan eksperimen yang dilakukan yaitu menggunakan simulasi program komputer proses *tube expanding* dengan memakai *software DEFORM 3D*. Dilakukan beberapa simulasi eksperimen, dan kemudian dari hasil eksperimen tersebut di uji dengan menggunakan metode Taguchi yaitu *Design Of Experiment (DOE)* untuk menemukan hasil yang optimal dan kualitas yang baik dari proses *tube expanding* tersebut.

**METODE PENELITIAN**

Penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini termasuk dalam bidang rekayasa *software* dan *broadening*, yaitu *software DEFORM 3D* dan Metode Taguchi DOE. Sedangkan alat pengolahan data untuk mengetahui pengaruh deformasi yang terjadi pada *tube* setelah proses *tube expanding* adalah menggunakan simulasi FEM (*Finite Elemen Method*) dengan menggunakan *software DEFORM 3D*, yang langkah – langkahnya adalah menggambar model *tube* dan *roller expander tool*, import gambar ke *deform 3D* dan proses simulasi dimulai.

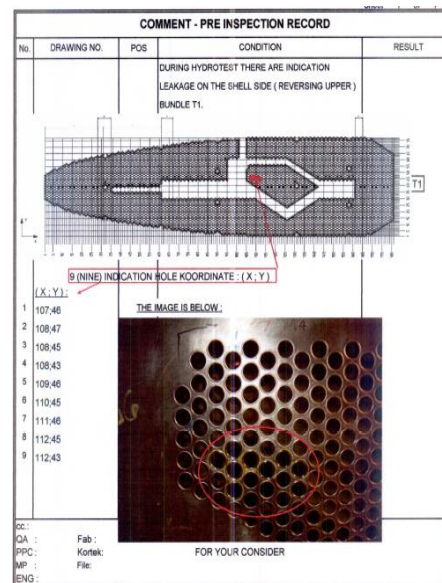
Setelah diolah dengan simulasi *software DEFORM 3D*, maka hasil simulasi tersebut dimasukkan ke tabel data orthogonal array L9 Taguchi. Dimana step-stepnya adalah membuat tabel level dan membuat tabel orthogonal array L9.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

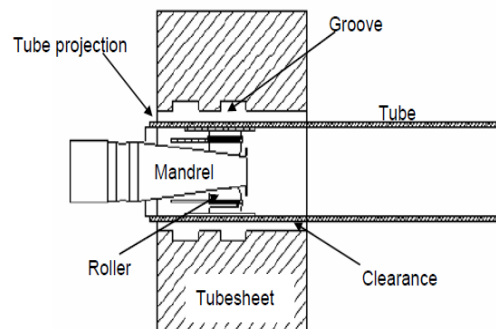
Data-data kerusakan *tube* setelah proses *tube expanding* dapat ditunjukkan pada gambar 1. Kerusakan yang terjadi meliputi keretakan *tube* dan *tube* tidak bisa menempel pada *tube sheet* sehingga menyebabkan kebocoran.

Sedangkan proses *tube expanding* itu adalah proses mekanisme perluasan tabung agar diameter tabung atau *tube* sesuai dengan batas penempatannya yaitu *tube sheet*nya seperti pada gambar 2.

Data-data yang diambil adalah jenis material yang digunakan pada produksi *waterbox condenser I* yaitu *Stainless Steel ASTM B 268 grade 2*, pada produksi *waterbox condenser II* yaitu *Titanium ASTM B 338 grade 2*, dan pada produksi *waterbox condenser III* yaitu *stainless steel ASTM A 249 TP 317LN*.



Gambar 1. Data kerusakan tube



Gambar 2. Proses tube expanding [4].

Data yang kedua adalah temperatur *tool expander* yang digunakan pada saat proses *tube expanding waterbox condenser I* adalah 86°F, untuk proses *tube expanding waterbox condenser II* adalah 80.6°F, dan temperatur untuk proses *tube expanding* pada *waterbox condenser III* adalah 89.6°F.

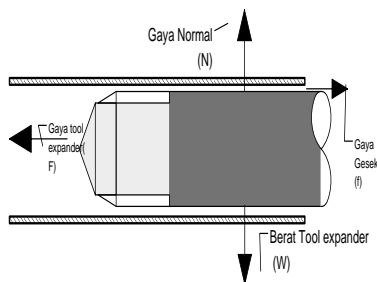
Data-data selanjutnya adalah mencari kecepatan *tool expander* dalam proses *tube expanding* [4]. Sedangkan data-data yang didapat adalah dari jumlah putaran atau rpm *tool expander*. Pada *condenser I* jumlah putarannya adalah 410 rpm, pada *condenser II*, jumlah putarannya 240 rpm, dan jumlah putaran pada *condenser III* adalah 230 rpm.

Dan data-data untuk diameter *tool expander* adalah 24 mm, 24 mm dikonversi satuannya ke dalam satuan Inch (satuan yang digunakan pada *software Deform 3 D*) adalah 0.94 inch.

Sehingga kecepatan putar pada *condenser I* adalah  $V = 1.1 \text{ inch/second}$ , kecepatan putar *tube expanding* pada *condenser II* adalah  $V = 0.67 \text{ inch/second}$  dan kecepatan putar *tube expanding* pada *condenser III* adalah  $V = 0.708 \text{ inch/second}$ . Sedangkan data-data yang berkaitan adalah torsi *tool expander* pada *waterbox condenser I* sebesar 15.5 N.m, *condenser II* sebesar 8.0 N.m dan *condenser III* sebesar 9.3 N.m. Berat dari *tool expander* adalah 8.5 Kg.

**Analisis Gaya pada Tool Expander**

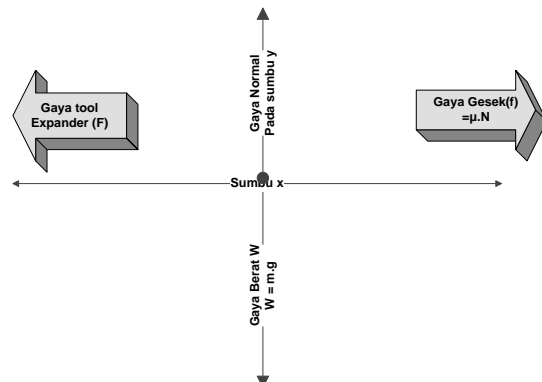
Gambar 3 merupakan gaya-gaya yang bekerja pada *tool expander*, sehingga dapat dibuat *free body diagram* (gambar 4) untuk menentukan koefisien gesek yang terjadi.



**Gambar 3.** Analisis gaya yang terjadi pada *tool expander*.

Dari gambar 3 dan 4 didapatkan gaya yang bekerja pada *waterbox condenser I* sebesar 127.04 N dan koefisien gesek ( $\mu$ ) adalah 1,52. Pada *waterbox condenser II*, diameter *tool expander* adalah 24 mm dengan jari-jari 12 mm. Sedangkan gaya yang bekerja sebesar 65.57 N dan koefisien gesek ( $\mu$ ) adalah 0.787. Pada *waterbox condenser III*, diameter *tool expander* adalah 24 mm dan jari-jarinya adalah 12 mm. Sedangkan gaya yang bekerja sebesar 76.22 N dengan koefisien gesek ( $\mu$ ) sebesar 0.91.

Pada Penelitian ini metode Taguchi DOE menggunakan Tabel Orthogonal array L9. Kemudian dibuat tabel Orthogonal Array L9 seperti terlihat pada tabel 1.



**Gambar 4.** Analisis gaya *tool expander* pada *free body diagram*.

**Tabel 1.** Level dan factor Taguchi

Project "X" proses Produksi Waterbox Condenser				
NO	FAKTOR/LEVEL	condenser 1	condenser 2	condenser 3
1	FRICITION(Koefisien Friction)	1.52	0.787	0.91
2	MATERIAL	STAINLESS STEEL ASTM B 268 gr 2	TITANIUM ASTM B 338 gr 2	ASTM A 249 TP 317LN
3	SPEED (inch/second)	1.1	0.67	0.708
4	TEMPERATUR(fahrenheit)	86	80.6	89.6

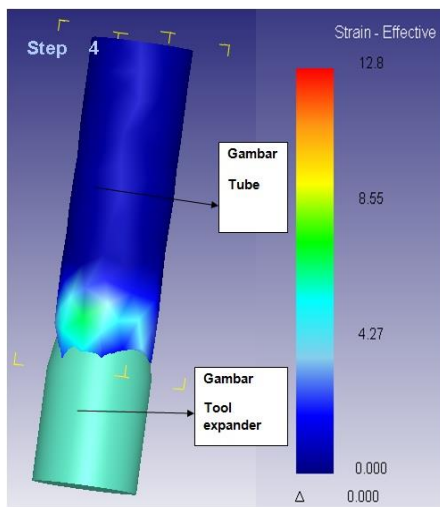
Tabel Level dan faktor dari penelitian simulasi proses *tube expanding* terlihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Tabel Orthogonal Array L9

TABEL ORTHOGONAL ARRAY L9					
PERCOBAAN KE	FRICTION	MATERIAL	SPEED	TEMPERATUR(F)	DAMAGE
1	1.52	STAINLESS STEEL ASTM B 268 gr 2	1.1	86	
2	1.52	TITANIUM ASTM B 338 gr 2	0.67	80.6	
3	1.52	ASTM A 249 TP 317LN	0.708	89.6	
4	0.787	STAINLESS STEEL ASTM B 268 gr 2	0.67	89.6	
5	0.787	TITANIUM ASTM B 338 gr 2	0.708	86	
6	0.787	ASTM A 249 TP 317LN	1.1	80.6	
7	0.91	STAINLESS STEEL ASTM B 268 gr 2	0.708	80.6	
8	0.91	TITANIUM ASTM B 338 gr 2	1.1	89.6	
9	0.91	ASTM A 249 TP 317LN	0.67	86	

**Analisis Deform 3D**

Untuk tingkat deformasi dapat digambarkan pada perubahan warna pada *tube* seperti ditunjukkan pada gambar 5.



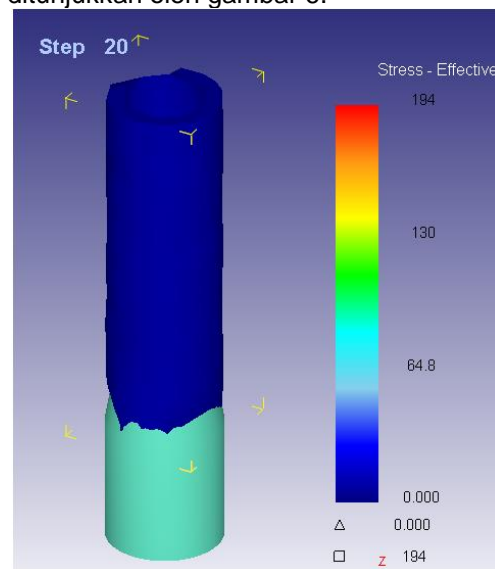
**Gambar 5.** Simulasi *Deform 3D* pada *tube*, warna biru adalah gambar *tube* dan hijau muda *tool expander*.

Dari tabel orthogonal array (Tabel 2) dijadikan sebagai acuan pada penelitian ini untuk melakukan percobaan simulasi sebanyak 9 kali percobaan.

Selanjutnya dari hasil *deformasi material stress-effective* diatas, maka nilai tersebut dimasukkan ke dalam program Minitab. Program software Minitab ini adalah

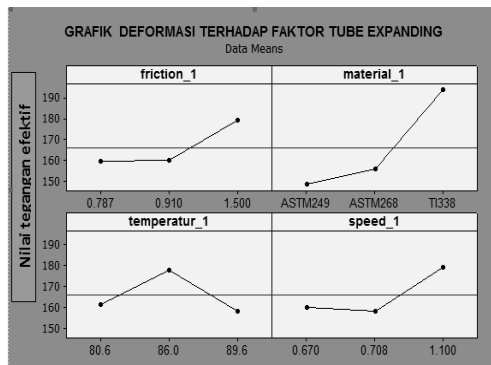
program untuk mengetahui seberapa besar nilai optimasi dari sebuah proses *tube expanding*.

Gambar dari hasil simulasi *Deform 3D* ditunjukkan oleh gambar 6.



**Gambar 6.** Hasil simulasi *tube expanding* dengan menggunakan *Deform 3D*.

Hasil pengolahan data sebagaimana ditunjukkan pada gambar 7 diperoleh dengan menggunakan Program *software Minitab 16*, dimana data hasil percobaan simulasi yaitu *nilai stress-effective* dirubah kedalam *Signal to Noise ratio* dan diambil yang *Nominal the better*.



**Gambar 7.** Grafik deformasi terhadap faktor *tube expanding*.

Gambar 7 menunjukkan bahwa setelah dilakukan percobaan simulasi menggunakan Program *Deform 3D Software* sebanyak 9 kali percobaan, maka didapatkan hasil simulasi proses *tube expanding* yang optimal agar tidak terjadi deformasi material pada *tube condenser*, yaitu dilihat dari grafik nilai yang paling minimal, dimana friction antara *tool expander* dan *tube* sebesar 0.787 inch, material yang digunakan adalah Baja Stainless Steel ASTM A 249 Grade 2, temperatur proses *tube expanding* yang optimal sebesar 89.6 derajat *Fahrenheit*, dan *speed* atau kecepatan *tool expander* yang optimal adalah 0.708 *inch per second*.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis pemecahan masalah dengan menggunakan alat *software Finite Element Method* untuk mengetahui Deformasi yang terjadi yaitu Simulasi *Deform 3D* dan data diolah dengan menggunakan metode taguchi DOE, maka simulasi ini dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Bahwa untuk proses Deformasi *Tube Expanding* yang optimal menggunakan friction dari *tool expander* sebesar 0.787 inch. Perhitungan Friction didasarkan pada gaya-gaya yang bekerja pada *tool expander* yaitu gaya momen torsi, Gaya Normal, Gaya Berat, dan gaya gesekan atau gaya *friction*
2. Jenis Material yang paling baik untuk meminimalisasi *deformasi material* pada proses *Tube Expanding* agar tidak terjadi

kebocoran adalah material jenis Baja Stainless Steel ASTM A249 Grade 2.

3. Temperatur yang optimal untuk proses *Tube Expanding* adalah sebesar 89.6°F atau sebesar 32°C.
4. Dan Kecepatan *Tool Expander* yang paling optimal untuk proses *tube expanding* adalah 0.708 inch per second atau 240 putaran per menit.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Montgomery, DC., 2005, *Design And Analysis Of Experiments*, 6<sup>th</sup> edition, John Willey and Sons Inc., Singapore.
- [2] Hitachi, 2011, "Fabrication Sequence For Surface Condenser",
- [3] Shakeri, 2007, "Expansion Of Circular Tubes by Rigid tubes as impact energy absorber :experimental and Theoretical investigation", *Departement of Mechanical Engineeering of Amirkabir University of Technology, Vol.12, No.5, 493-501*
- [4] Sugino, Machine Limited, "*Tube Expander Tool for Heat Exchanger Catalouge*".