

## Optimasi Desain *Metal Gasket* Tipis Bentuk *New Corrugated* Untuk Kebutuhan Tekanan Kerja Rendah Dengan Simulasi Komputer

Avita Ayu Permanasari, Moch. Agus Choירו, Anindito Purnowidodo  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya  
Jalan. Mayjend Haryono 167, Malang 65145. Indonesia  
Phone: +62-341-587711, Fax: +62-341-554291  
E-mail : avitaayu14@yahoo.com

### Abstract

Contact width and leakage had been used as the main parameter to optimize a new corrugated metal gasket for high working pressure. The leakage could be reduced as increasing the contact width. On the other hand, gaskets in piping for low pressure were used into distribution of water in the hotel. In this study, thin metal gasket is optimized by using simulation experiment. The design of experimentation (DOE) Taguchi method is used to analyze the effect of each parameter design and to predict optimal design of thin metal gasket. The L27 orthogonal array is concerned to design the experimental matrix for five factors with three levels. The five factors are thickness ( $t$ ), pitch ( $p$ ), over hang (OH), lip height ( $h$ ), and radius convex ( $R$ ). The observed value is denoted by using the slope of the curve of relationship between contact width and clamping load. The slope of curve is increased; it will be reduce the clamping load. The optimum design of thin metal gasket based on the results of each observed values is a model with thickness ( $t$ ) = 0.3 mm, pitch ( $p$ ) = 4 mm, over hang (OH) = 3 mm, lip height ( $h$ ) = 0.4 mm, and radius convex ( $R$ ) = 2.5 mm.

**Keywords:** Contact width, leakage, Taguchi, optimum design

### PENDAHULUAN

Gasket berfungsi sebagai media penahan kebocoran pada sambungan pipa penghubung yang diketatkan dengan sepasang *flange*. *Metal gasket* merupakan salah satu jenis material *gasket* yang memiliki kemampuan pada tekanan yang tinggi, ketahanan yang baik pada temperatur tinggi, tidak mudah korosi. dan dapat meminimalisasi frekuensi penggantian *gasket*. Bentuk umum desain *gasket* berupa bentuk flat yang memiliki kelebihan fleksibilitas bentuk untuk dapat dipotong sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Kelemahan *flat gasket* adalah kebutuhan besar gaya *tightening* yang besar dan kemungkinan terjadinya *gasket relaxation*. Gaya *tightening* yang besar akan menyebabkan kebutuhan desain material baut dan *flange* menjadi lebih mahal, sedangkan *gasket relaxation* akan membutuhkan tambahan pekerjaan dalam bentuk *tightening procedure* yang berkala untuk mencegah kebocoran dari *gasket* yang terpasang pada flange selama periode operasi.

Model desain *gasket* selain *flat gasket* adalah *corrugated shape* (bentuk bergelombang). Desain baru dari *corrugated metal gasket* dikembangkan oleh Saeed, *et.al* (2008). Penelitian berkelanjutan untuk optimasi desain telah dilakukan oleh Haruyama S. *et.al* (2009) dan Choiron, *et.al* (2010, 2012) yang menghasilkan prosedur baru uji kebocoran dan desain *gasket* yang optimal untuk tekanan kerja yang cukup tinggi sebesar 10-20 MPa. Desain baru *gasket*

ini dapat memberikan solusi terhadap kelemahan flat *gasket* yaitu membutuhkan gaya *tightening* yang lebih rendah dan mengurangi kemungkinan terjadinya *gasket relaxation*.

Penelitian sebelumnya merupakan studi untuk menghasilkan produk desain baru dari *corrugated metal gasket* untuk kebutuhan operasi tekanan tinggi. Pada penelitian ini akan dikembangkan *gasket* yang dapat dipakai pada mesin-mesin konversi energi bertekanan rendah berkisar 0,6 – 1,1 MPa seperti pada *filling machine* dan pendistribusian air di hotel. Dengan mengacu pada konsep desain dari penelitian sebelumnya, maka pada penelitian ini akan dirancang optimasi desain *metal gasket* dengan ketebalan yang tipis dengan menggunakan simulasi komputer untuk mengefisienkan proses desain dan manufaktur sehingga biaya dan waktu untuk *trial-error* proses akan tereduksi.

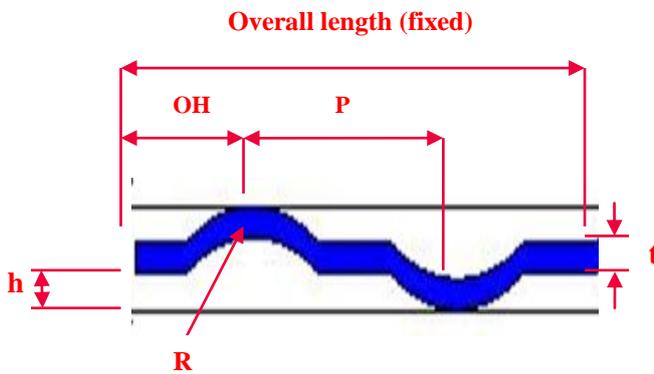
### METODE PENELITIAN

*Gasket* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *gasket* bergelombang yang dipasang diantara dua *flange* pada sisi atas dan bawah, seperti diilustrasikan pada Gambar 1. Ketika material *gasket* diketatkan diantara dua flange, maka kedua lingkaran (*bead*) yang ada pada *gasket* akan terjadi kontak dengan *flange* dan menciptakan garis lebar kontak yang mempunyai tegangan kontak yang tinggi untuk mencegah kebocoran (Gambar 2). Walaupun lebar kontak yang terjadi pada *gasket* tipe *corrugated* ini

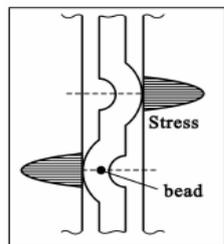
sedikit, tetapi akan menghasilkan tegangan kontak yang tinggi sehingga beban pengencangan yang dibutuhkan lebih kecil.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer. Material yang digunakan adalah material baja SUS 304 karena tahan terhadap temperatur tinggi dan tahan korosi. Material ini menggunakan standar JIS berdasarkan uji kekuatan tarik JISZ 2241, yaitu :

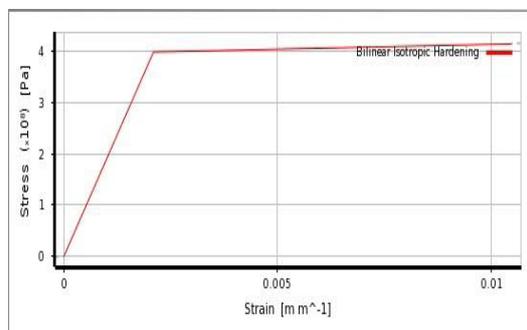
- Modulus Elastisitas (E) = 210 GPa
- Poisson ratio ( $\nu$ ) = 0,3
- Yield strength ( $\sigma_y$ ) = 398,83 Mpa
- Tangent Modulus (H) = 1.900,53 Mpa
- Young Modulus = 190 Gpa



Gambar 1. Parameter desain gasket tipis



Gambar 2. Tegangan kontak yang tinggi pada lebar kontak yang kecil



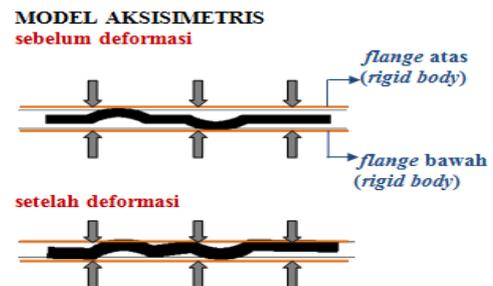
Gambar 3. Model material Stainless Steel SUS304

Material dimodelkan secara *bilinear isotropic hardening* karena digunakan untuk menganalisis plastisitas yang dialami oleh benda kerja akibat regangan yang besar. Kurva tegangan-regangan bilinear didapatkan dengan memasukkan nilai *yield*

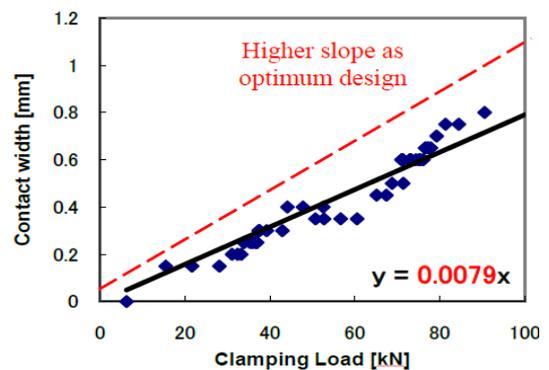
*strength* dan *tangent modulus*. Kemiringan segmen pertama dalam kurva setara dengan *young modulus* sementara kemiringan segmen kedua setara dengan *tangent modulus*. Gambar 3 memperlihatkan hubungan model material dari *Stainless Steel SUS304*.

Analisa pemodelan *gasket* tipis bergelombang ini menggunakan *software* berbasis metode elemen hingga. Kedua flange diasumsikan sebagai *rigid body*, sedangkan *gasket* tipis diasumsikan sebagai *deformable*. Pemodelan dibuat dengan 2 Dimensi dengan asumsi model aksisimetris. Perpindahan pada arah aksial digunakan sebagai model pengetatan *flange* atas terhadap *gasket* dengan kondisi *flange* bawah dikonstrains (Gambar 4).

Pada saat *clamping load*, kedua lingkaran pada permukaan *gasket* akan menghasilkan *spring effect*. Ciri khas *spring effect* akan ditunjukkan dari proporsi daerah elastis sehingga kondisi inilah yang akan membantu mengurangi terjadinya *gasket relaxation* apabila nantinya pada kondisi operasi *gasket* tipis *corrugated* terjadi pengurangan keketatan baut.



Gambar 4. model aksisimetris

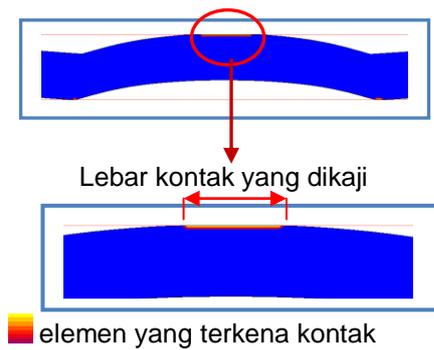


Gambar 5. Kurva hubungan antara *contact width* dengan *clamping load*

Pada penelitian sebelumnya diketahui bahwa *contact width* mempengaruhi tingkat ketahanan *gasket* untuk mencegah kebocoran dengan mempertimbangkan *contact stress* yang terjadi [2]. Desain *gasket* yang optimal adalah yang dapat menimbulkan *contact width* yang tinggi dengan *plastic contact stress*, sehingga *clamping load* akan rendah. Hubungan antara *contact width* dengan *clamping load* dapat dilihat pada Gambar 5 dimana

semakin tinggi *slope* atau *gradient* kurva, maka semakin rendah *clamping load* yang ditimbulkan. Desain *gasket* yang dipilih adalah yang memiliki *slope* atau *gradient* kurva yang tinggi.

Lebar kontak diukur dari jumlah elemen *gasket* yang mengalami kontak dengan flange. Penentuan lebar kontak dilakukan dengan mempertimbangkan *contact stress* dengan cara dilakukan penghapusan nilai *contact stress* di bawah tegangan yield 398,83 MPa. *Sealing lines* akan terbentuk pada *contact width* yang memiliki kondisi *plastic contact stress* (Gambar 6).



**Gambar 6.** Lebar kontak pada salah satu *convex gasket*

Analisa parameter desain dilakukan dengan menggunakan metode Taguchi *Design of Experiment* (DOE) untuk memprediksi bentuk *gasket* yang paling optimal berdasarkan parameter yang mempengaruhi *spring effect* (Gambar 4) dengan 5 parameter desain (*factor*) dan 3 level L27 *test matrix* (Tabel 1 dan Tabel 2).

**Tabel 1.** Factor and Level Descriptions

Factor	Factor Description	Level [mm]		
		1	2	3
A	Thickness (t)	0.3	0.4	0.5
B	Pitch	3.5	4	4.5
C	Over hang	2.5	3	3.5
D	Lip height (h)	0.3	0.4	0.5
	Radius convex (R)	1.5	2	2.5

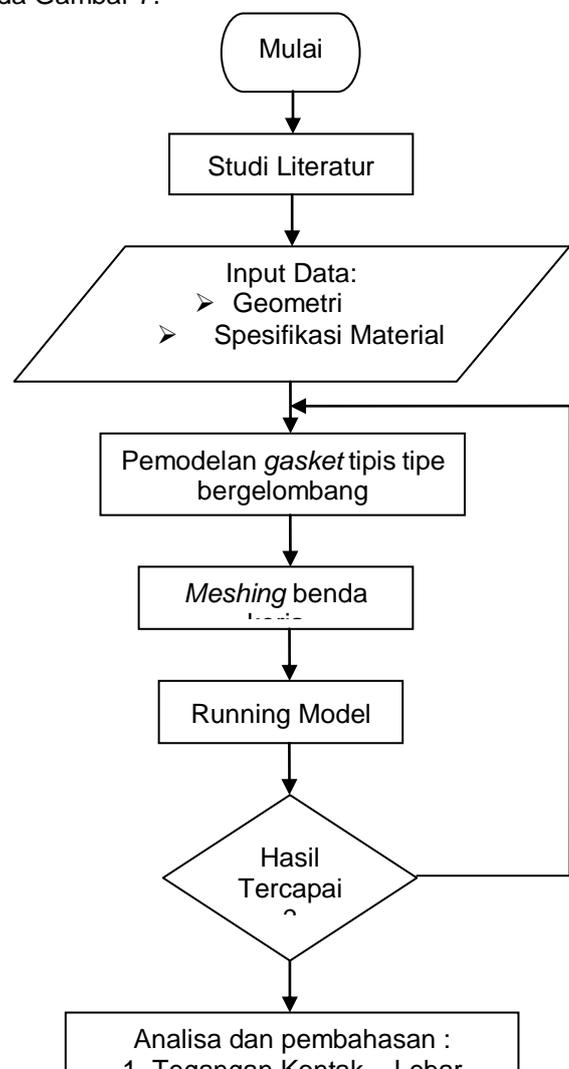
**Tabel 2.** L27 Test Matrix

TRIAL	FAKTOR				
	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2
3	1	1	1	1	3
4	1	2	2	2	1
5	1	2	2	2	2

Lanjutan Tabel 2. L27 Test Matrix

6	1	2	2	2	3
7	1	3	3	3	1
8	1	3	3	3	2
9	1	3	3	3	3
10	2	1	2	3	1
11	2	1	2	3	2
12	2	1	2	3	3
13	2	2	3	1	1
14	2	2	3	1	2
15	2	2	3	1	3
16	2	3	1	2	1
17	2	3	1	2	2
18	2	3	1	2	3
19	3	1	3	2	1
20	3	1	3	2	2
21	3	1	3	2	3
22	3	2	1	3	1
23	3	2	1	3	2
24	3	2	1	3	3
25	3	3	2	1	1
26	3	3	2	1	2
27	3	3	2	1	3

Secara umum langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan mengikuti diagram alir yang terlihat pada Gambar 7.





Gambar 7. Diagram penelitian HASIL DAN PEMBAHASAN

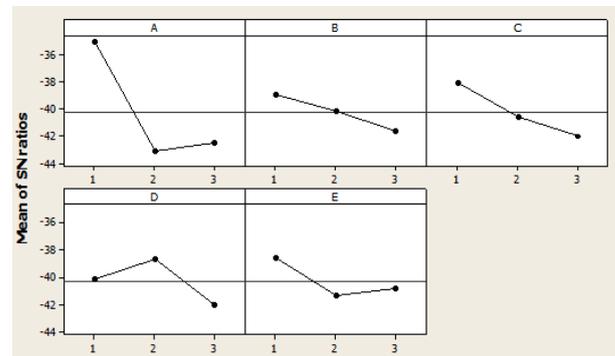
Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan data *slope of curve* (Y) pada Tabel 3. Berdasarkan data dari Tabel 3, dilakukan analisis parameter yang mempengaruhi besarnya nilai *slope of curve* yang dihasilkan dengan menggunakan metode Taguchi DOE (*Design of Experiment*), sehingga didapatkan data *mean of SN ratios* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Tabel 3. Hasil Test Matrix L27

TRIAL	FAKTOR					Slope of Curve
	A	B	C	D	E	
1	1	1	1	1	1	0,008
2	1	1	1	1	2	0,005
3	1	1	1	1	3	0,014
4	1	2	2	2	1	0,009
5	1	2	2	2	2	0,002
6	1	2	2	2	3	0,004
7	1	3	3	3	1	0,003
8	1	3	3	3	2	0,002
9	1	3	3	3	3	0,001
10	2	1	2	3	1	0,006
11	2	1	2	3	2	0,004

12	2	1	2	3	3	0,009
13	2	2	3	1	1	0,008
14	2	2	3	1	2	0,005
15	2	2	3	1	3	0,005
16	2	3	1	2	1	0,006
17	2	3	1	2	2	0,012
18	2	3	1	2	3	0,008
19	3	1	3	2	1	0,010
20	3	1	3	2	2	0,006
21	3	1	3	2	3	0,010
22	3	2	1	3	1	0,010
23	3	2	1	3	2	0,007
24	3	2	1	3	3	0,007
25	3	3	2	1	1	0,010
26	3	3	2	1	2	0,005
27	3	3	2	1	3	0,005

Dikarenakan memakai karakteristik kualitas *large is better* maka nilai tertinggi pada level di tiap-tiap parameter menjadi pedoman untuk membuat desain baru yang merupakan desain *gasket* yang optimum untuk menghasilkan nilai *slope of curve* yang tinggi. Desain *gasket* yang optimum seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.



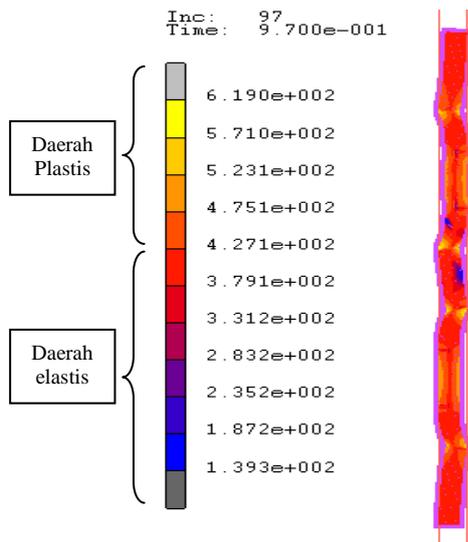
Gambar 8. Main Effects Plot

Tabel 4. Faktor dan dimensi desain yang optimum

Factor Description	Faktor	Dimensi
Thickness (t)	1	0.3 mm
Pitch (P)	1	3.5 mm
Over hang (OH)	1	2.5 mm
Lip height (h)	2	0.4 mm
Radius convex (R)	1	1.5 mm

Dari *output* simulasi komputer didapatkan distribusi besar tegangan kontak (*contact stress*) dan lebar kontak (*contact width*) yang terjadi. Besar

beban pengetatan *flange* pada *gasket* disertai pola distribusi tegangan dan deformasi *gasket* yang terjadi. Ciri khas dari desain *gasket* new corrugated adalah adanya *spring effect* yang ditunjukkan dari distribusi tegangan yang terjadi pada daerah antar gelombang setelah *clamping load* selesai dilakukan. *Spring effect* dihasilkan oleh daerah yang masih mengalami deformasi elastis dengan tegangan di bawah tegangan yield yaitu 398,83 MPa (Gambar 9).



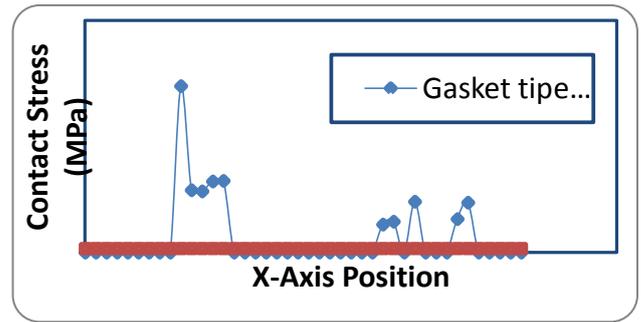
**Gambar 9.** Distribusi tegangan desain *gasket* yang optimum pada proses *clamping load*

Untuk menunjukkan bahwa beban pengencangan yang dibutuhkan untuk *gasket* tipe *new corrugated* lebih rendah dibandingkan dengan *gasket* tipe *flat*, maka dilakukan analisis perbandingan pada kedua tipe *gasket* tersebut (Gambar 10).



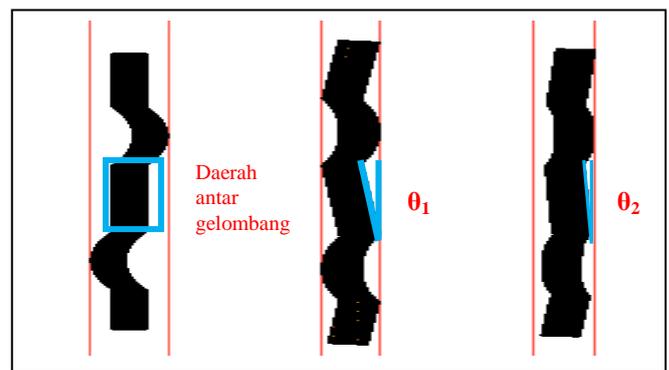
**Gambar 10.** Desain *Gasket* Tipis Tipe *Flat* dan *New Corrugated*

Hal ini dapat dilihat pada gambar 11 yang menunjukkan distribusi tegangan kontak pada daerah lebar kontak pada *gasket* tipis tipe *new corrugated* dan *gasket* tipis tipe *flat* pada pembebanan  $\pm 20$  kN. Tampak bahwa besar tegangan kontak pada *gasket* tipe *new corrugated* lebih besar dibandingkan besar tegangan kontak pada *gasket* tipe *flat* dimana besarnya mencapai di atas tegangan yield bahan atau sudah mencapai tegangan plastis. Dari penelitian sebelumnya ditemukan bahwa kebocoran dapat dicegah oleh lebar kontak yang memiliki besar tegangan kontak yang plastis. Apabila dikomparasikan pada harga tegangan kontak yang sama maka dapat disimpulkan besar gaya pengetatan yang dibutuhkan pada *gasket* tipe *new corrugated* lebih rendah dibandingkan gaya pengetatan pada *gasket* tipis tipe *flat*.



**Gambar 11.** Distribusi tegangan kontak pada daerah lebar kontak pada *gasket* tipe *corrugated* dan *gasket* tipe *flat* pada pembebanan  $\pm 20$  kN

Gambar 12 menunjukkan mekanisme deformasi dan perubahan posisi daerah antar gelombang mulai dari posisi *gasket* awal sebelum diketatkan, setelah diketatkan dan prediksi apabila terjadi *gasket relaxation*. Daerah antar gelombang mengalami deformasi dan perubahan posisi dimana pada saat sebelum diketatkan berada pada kondisi lurus, setelah *gasket* diketatkan posisi menekuk dengan sudut  $\theta_1$  dan bila terjadi release maka posisi daerah antar gelombang berusaha kembali ke posisi semula sehingga sudutnya  $\theta_2$  berharga lebih kecil dibanding sudut  $\theta_1$ . Hal ini diakibatkan masih besarnya proporsi elastis pada daerah antar gelombang sehingga memberikan fakta bahwa pada daerah antar gelombang mengalami *spring effect*.



(a). Sebelum diketatkan (b). Setelah diketatkan (c). Setelah *release*

**Gambar 12.** Mekanisme deformasi dan posisi daerah antar gelombang mulai dari posisi *gasket* awal (a). sebelum diketatkan, (b). setelah diketatkan, (c). prediksi apabila terjadi *gasket relaxation*

**KESIMPULAN**

Desain *gasket* tipis yang optimum didapatkan pada dimensi *thickness* ( $t$ ) = 0.3 mm; *pitch* ( $P$ ) = 4 mm; *over hang* ( $OH$ ) = 3 mm; lip height ( $h$ ) = 0.4 mm; radius convex ( $R$ ) = 2.5 mm.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Saeed, H.A, Izumi, S., Sakai, S., Haruyama, S., Nagawa, M., Noda, H., 2008, Development of New Metallic Gasket and its Optimum Design for Leakage Performance, *Journal of Solid Mechanics and Material Engineering.*, Vol. 2, No. 1, 105-114 .
- [2] Haruyama S., Choiron M.A, Kaminishi K., 2009, A Study of Design Standard and Performance Evaluation on New Metallic Gasket, *Proceeding of the 2nd International Symposium on Digital Manufacturing.*, Wuhan China, 107-113.
- [3] Choiron M.A, Haruyama S., Kaminishi K., 2010, Optimum Design of New 25A-size Metal Gasket Considering Plastic Contact Stress, *International Journal of Modeling and Optimization.*, Vol. 1, No. 2, 146-150.
- [4] Choiron M.A, Haruyama S., Kaminishi K., 2012, Studies of Relationship between Contact Width and Leakage on Large Size of New Metal Gasket, *Applied Mechanics and Materials.*, 229-231, pp. 705-709.