

**REDESAIN *NEW CORRUGATED METAL GASKET* UKURAN 25A
MENGUNAKAN SIMULASI KOMPUTER**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONSTRUKSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**ADHITYA HERLAMBAANG
NIM. 0810620025-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2014**

LEMBAR PERSETUJUAN

REDESAIN *NEW CORRUGATED METAL GASKET* UKURAN 25A MENGUNAKAN SIMULASI KOMPUTER

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK KONSTRUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

ADHITYA HERLAMBAANG
NIM. 0810620025-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr.Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT
NIP. 19720817 200002 1 001

Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng
NIP. 19710310 199802 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**REDESAIN *NEW CORRUGATED METAL GASKET* UKURAN 25A
MENGUNAKAN SIMULASI KOMPUTER**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONSTRUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**ADHITYA HERLAMBAANG
NIM. 0810620025-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 27 Januari 2014

Majelis Penguji

Skripsi I

Skripsi II

Prof.Ir. Sudjito, Ph.D
NIP. 19720817 200002 1 001

Ir. Endi Sutikno, MT.
NIP. 19710310 199802 1 001

Skripsi III

Agung Sugeng Widodo, ST.,MT.,Ph.D.
19710321 199802 1 001

Mengetahui,
An. Ketua
Sekretaris Jurusan Teknik Mesin

Purnami, ST., MT.
19770707 200812 1 005

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah senantiasa melimpahkan rahmat, berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul ”**Redesain New Corrugated Metal Gasket Ukuran 25A Menggunakan Simulasi Komputer**” ini dengan baik.

Selama dalam penulisan skripsi ini penulis telah dibantu oleh banyak pihak. Oleh sebab itu penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, yaitu:

- Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
- Bapak Dr. Eng Moch. Agus Choiron ST., MT dan Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST.,M.Eng., sebagai Dosen pembimbing yang telah banyak bersabar dan bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan ide-ide, bimbingan, arahan, dan masukan dalam penyusunan skripsi ini,
- Ayah Ir. Suherman, ibu Ummi Sundari dan adik-adikku tersayang yang selalu memberikan motivasi dan dukungan baik materil maupun moril untuk mengerjakan skripsi ini,
- Keluarga besar Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang, yang sudah banyak memberikan bantuan.
- Abed Nego Siregar, ST (juragan tokek), Dhani Wibisono (ST12), Sonia Rebecca Maya Dharma (*my love*) dan keluarga besar mahasiswa Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang angkatan 2008.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Januari 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Analisis Tegangan	5
2.2.1 Tegangan.....	5
2.2.2 Regangan.....	8
2.2.3 Kekuatan Tarik.....	8
2.3 <i>Spring Effect</i>	11
2.4 <i>Analisa Spring Effect</i>	12
2.5 Metode Taguchi.....	14
2.5.1 <i>Design Of Experiment</i>	14
2.5.2 <i>Orthogonal Array</i>	15
2.5.3 <i>Signal to Noise Ratio</i>	15
2.6 <i>Gasket</i>	18
2.6.1 <i>Corrugated Metal Gasket</i>	19
2.6.2 <i>New Corrugated Metal Gasket</i>	20
2.6.3 Pengkodean pada <i>Corrugated Metal Gasket</i>	20
2.7 Metode Elemen Hingga	22
2.7.1 Elemen Satu Dimensi.....	22
2.7.2 Elemen Dua Dimensi	22

2.7.3	Elemen Selaput (<i>Shell</i>).....	23
2.8	<i>Software</i> Komputer.....	28
2.8.1	<i>Preprocessing</i>	28
2.8.2	<i>Solution</i>	28
2.8.3	<i>Postprocessing</i>	28
2.9	<i>Software</i> Komputer.....	29
2.9.1	<i>Preprocessing</i>	30
2.9.2	<i>Solution</i>	30
2.9.3	<i>Postprocessing</i>	30
2.9.10	Hipotesis.....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Metode Penelitian.....	30
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	30
3.3	Variabel Penelitian.....	30
3.2.1	Variabel Bebas.....	30
3.2.2	Variabel Terikat.....	31
3.2.3	Variabel Terkontrol.....	31
3.4	Bahan dan Peralatan Penelitian.....	32
3.5	Langkah-langkah Simulasi.....	31
3.5.1	<i>Preprocessing</i>	31
3.5.2	<i>Solution</i>	32
3.5.3	<i>Postprocessing</i>	32
3.6	Diagram Alir Penelitian.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Simulasi.....	34
4.2	Pembahasan.....	38
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan.....	42
5.2	Saran.....	42

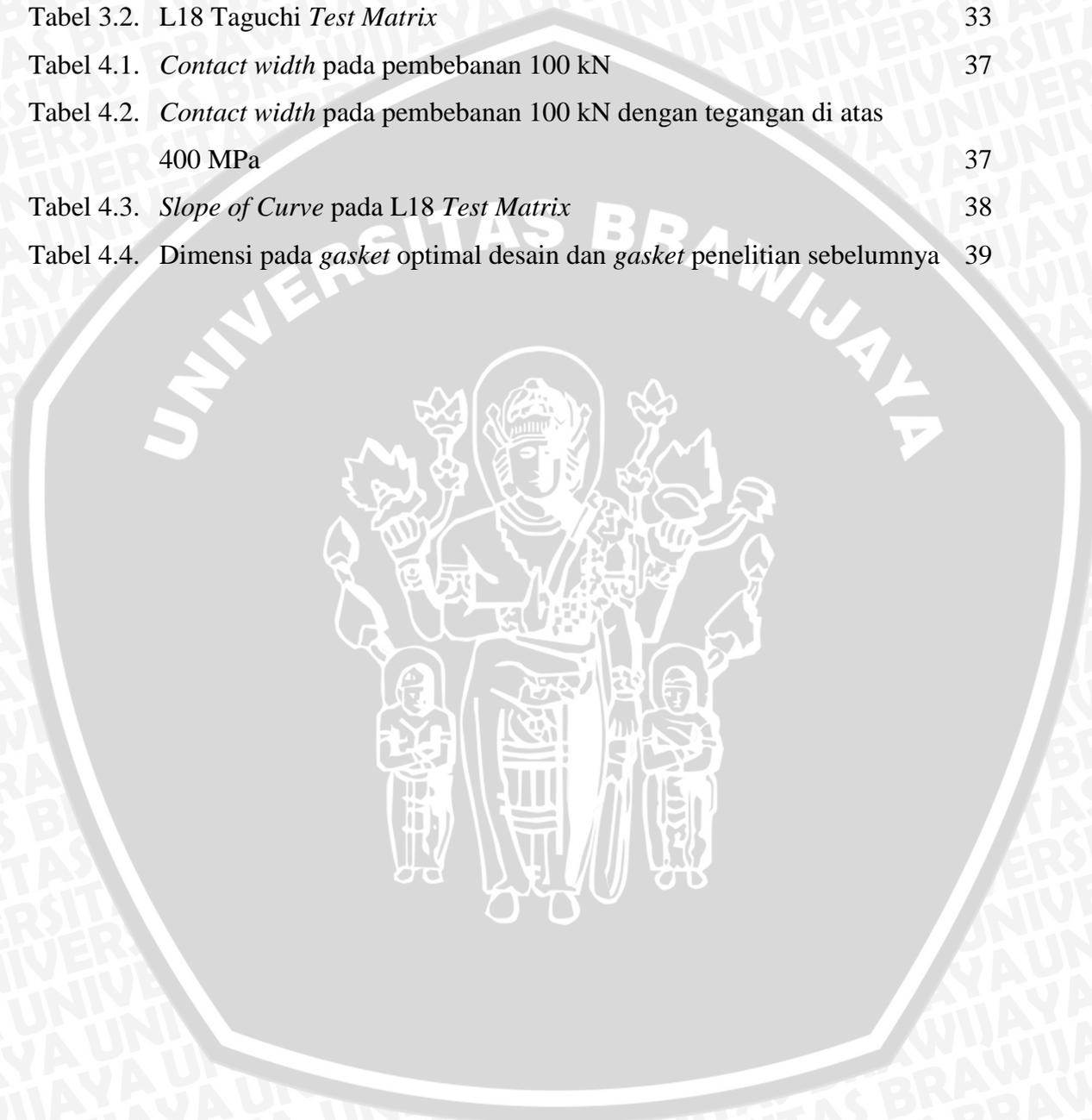
DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Kode atau penomoran <i>gasket</i>	21
Tabel 3.1.	<i>Factor and Level Descriptions</i>	32
Tabel 3.2.	L18 Taguchi <i>Test Matrix</i>	33
Tabel 4.1.	<i>Contact width</i> pada pembebanan 100 kN	37
Tabel 4.2.	<i>Contact width</i> pada pembebanan 100 kN dengan tegangan di atas 400 MPa	37
Tabel 4.3.	<i>Slope of Curve</i> pada L18 <i>Test Matrix</i>	38
Tabel 4.4.	Dimensi pada <i>gasket</i> optimal desain dan <i>gasket</i> penelitian sebelumnya	39



DAFTAR GAMBAR

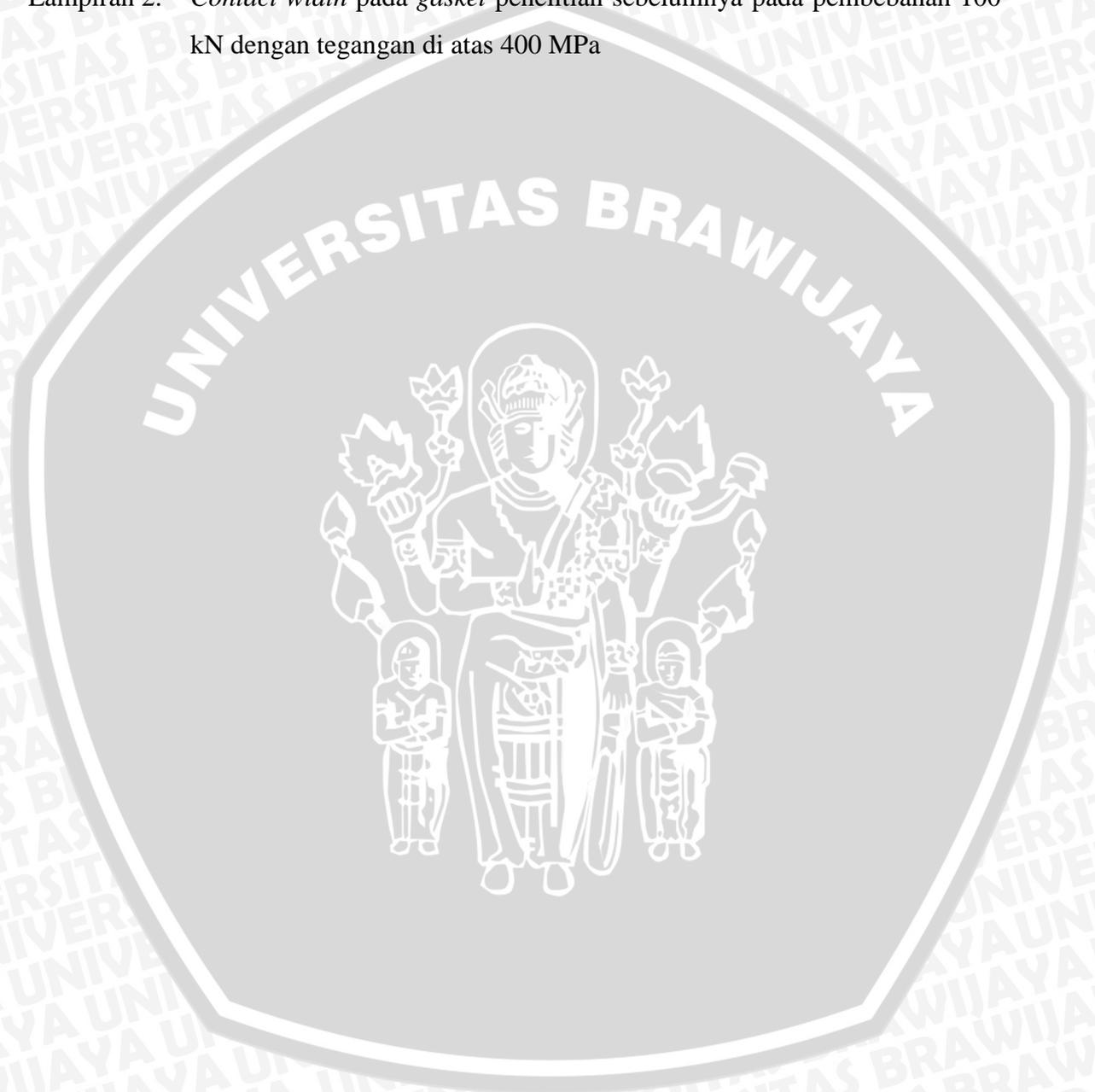
No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	<i>Spring effect</i> pada daerah antar gelombang	4
Gambar 2.2	Batang yang diberi gaya aksial (P) pada ujungnya	5
Gambar 2.3	Benda padat yang diberi gaya dari berbagai arah	6
Gambar 2.4	Tegangan pada bidang kubus	7
Gambar 2.5	Menentukan tegangan prinsipal	8
Gambar 2.6	Diagram tegangan-regangan baja karbon rendah	9
Gambar 2.7	Permodelan material pada diagram tegangan-regangan	10
Gambar 2.8	Perubahan tegangan pada radius tekuk	11
Gambar 2.9	<i>Gaya spring effect</i>	11
Gambar 2.10	Kondisi <i>unloading</i> dari pelat yang dibengkokkan dengan momen tanpa disertai <i>tension</i>	12
Gambar 2.11	Model untuk material elastis-plastis sempurna dengan gaya pembalikan	13
Gambar 2.12	Daerah elastis pada material SUS304	13
Gambar 2.13	<i>Nominal is best</i>	16
Gambar 2.14	<i>Lower is better</i>	17
Gambar 2.15	<i>Higher is better</i>	17
Gambar 2.16	<i>Gasket</i> dalam sambungan pipa	18
Gambar 2.17	<i>Corrugated metal gasket</i>	19
Gambar 2.18	Perbedaan <i>new corrugated metal gasket</i> dengan <i>corrugated metal gasket</i>	20
Gambar 2.19	Penampang melintang <i>corrugated metal gasket</i>	21
Gambar 2.20	(a) <i>Gas engine crankshaft</i> , (b) <i>joy swivel link</i>	23
Gambar 2.21	Diskretisasi Elemen	24
Gambar 2.22	Elemen hingga segitiga	26
Gambar 2.23	Elemen hingga segiempat	27
Gambar 3.1	Geometri <i>New Corrugated Metal Gasket</i> ukuran 25A	30
Gambar 3.2	Permodelan material	31
Gambar 3.3	Distribusi <i>contact width</i> setelah <i>gasket</i> terdeformasi	33
Gambar 3.4	Grafik hubungan antara <i>contact width</i> dengan <i>clamping load</i>	33
Gambar 3.5	Diagram alir penelitian	35

Gambar 4.1	Distribusi tegangan pada simulasi proses <i>clamping load</i>	36
Gambar 4.2	Analisis Taguchi DOE	39
Gambar 4.3	Perbandingan bentuk antara desain 1 dengan desain 2	39
Gambar 4.4	Grafik hubungan antara <i>contact width</i> dan <i>clamping load</i>	40
Gambar 4.5	Distribusi tegangan pada <i>gasket</i> optimal desain	41
Gambar 4.6	Distribusi tegangan pada <i>gasket</i> penelitian sebelumnya	42



DAFTAR LAMPIRAN

- | No. | Judul |
|-------------|--|
| Lampiran 1. | <i>Contact width</i> pada <i>gasket</i> optimal desain pada pembebanan 100 kN dengan tegangan di atas 400 MPa |
| Lampiran 2. | <i>Contact width</i> pada <i>gasket</i> penelitian sebelumnya pada pembebanan 100 kN dengan tegangan di atas 400 MPa |



RINGKASAN

Adhitya Herlambang, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Janurai 2013, *Redesain Pada New Corrugated Metal Gasket Ukuran 25A Menggunakan Simulasi Komputer*, Dosen Pembimbing: Dr. Eng. Moch. Agus Choiron ST., MT dan Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng.

Gasket adalah material atau kombinasi beberapa material yang diletakkan di antara dua bagian terpisah dari sebuah sambungan mekanik dan berfungsi untuk mencegah kebocoran. *Gasket* pada umumnya berbahan dasar *asbestos*. Namun *gasket asbestos* memiliki kandungan bahan kimia yang berbahaya dan dapat memicu penyakit kanker paru-paru. Hal ini menyebabkan penggunaan *gasket asbestos* dilarang di Jepang pada tahun 2008. Sehingga menjadi tantangan bagi para *engineer* untuk menemukan bahan alternatif pengganti *gasket asbestos*, dengan harapan performa yang didapatkan sama baik dengan *gasket asbestos*.

Bahan alternatif pengganti *asbestos* dapat dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan bahan dasar penyusunnya, yaitu *semi-metallic gasket*, *metallic gasket*, dan *non metallic gasket*. *Semi-metallic gasket* umumnya dibuat dari *stainless steel* dan *material filler*, contohnya adalah *spiral wound gasket*. *Metallic gasket* berbahan dasar logam, contohnya adalah *corrugated gasket* dan *octagonal gasket*. Sedangkan *non metallic gasket* tidak menggunakan unsur logam sebagai bahan penyusunnya contohnya GFRP (*Glass Fiber Reinforced Plastics*) dan PTFE (*Polytetrafluoroethylene*).

New Corrugated metal gasket merupakan salah satu alternatif pengganti *gasket asbestos* yang merupakan hasil riset pengembangan tipe *corrugated metal gasket* yang memiliki permukaan yang bergelombang dan memiliki ciri khas yaitu terdapat daerah antar gelombang. Mengacu pada penelitian sebelumnya, modifikasi akan dilakukan dengan menggunakan metode Taguchi untuk memprediksi bentuk *gasket* yang menghasilkan *plastic contact stress* yang tinggi pada *contact width* antara *gasket* dan *flange* berdasarkan parameter yang mempengaruhi *spring effect*, yaitu *over hang* (OH), *pitch* (P), *thickness* (t), *inner radius* (R), *outer radius* (R'), *cantilever area* (x), *lip height* (h) dengan 3 level ukuran.

Dari hasil simulasi diketahui parameter desain yang menghasilkan *spring effect* dan *contact width* paling tinggi adalah *configuration* (c) = 1x1, *pitch* (P) = 4 mm, *thickness* (t) = 1.5 mm, *inner radius* (R) = 1.75 mm, *outer radius* (R') = 2.25 mm, *top lip height* (h) = 0.20 mm, *bottom lip height* (h') = 0.20 mm dengan nilai *slope of curve* yang paling tinggi. Semakin tinggi nilai *slope of curve* maka semakin tinggi kemampuan *gasket* untuk mencegah kebocoran.

Kata Kunci: *new corrugated metal gasket 25A*, *spring effect*, *plastic contact stress*, *contact width*, metode Taguchi.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gasket adalah material atau kombinasi beberapa material yang diletakkan di antara dua bagian terpisah dari sebuah sambungan mekanik dan berfungsi untuk mencegah kebocoran dari berbagai zat baik oli atau minyak, air maupun gas. Permukaan yang dipasang *gasket* harus rata, bersih, kering dan tidak ada goresan agar fungsi *gasket* untuk mencegah kebocoran akan optimal. *Gasket* yang baik haruslah memenuhi beberapa kriteria yaitu, kuat terhadap tekanan, mampu menyesuaikan bentuk terhadap permukaan, tahan terhadap bahan kimia dan temperatur tinggi.

Gasket pada umumnya berbahan dasar *asbestos*. Bahan *asbestos* sering digunakan karena kemampuannya dalam mencegah terjadinya kebocoran yang sangat baik, murah dan mudah didapat. Namun *gasket asbestos* memiliki kandungan bahan kimia yang berbahaya dan dapat memicu penyakit kanker paru-paru. Hal ini menyebabkan penggunaan *gasket asbestos* dilarang di Jepang pada tahun 2008. Sehingga menjadi tantangan bagi para *engineer* untuk menemukan bahan alternatif pengganti *gasket asbestos*, dengan harapan performa yang didapatkan sama baik dengan *gasket asbestos*.

Bahan alternatif pengganti *asbestos* dapat dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan bahan dasar penyusunnya, yaitu *semi-metallic gasket*, *metallic gasket*, dan *non metallic gasket*. *Semi-metallic gasket* umumnya dibuat dari *stainless steel* dan *meterial filler*, contohnya adalah *spiral wound gasket*. *Metallic gasket* berbahan dasar logam, contohnya adalah *corrugated gasket* dan *octagonal gasket*. Sedangkan *non metallic gasket* tidak menggunakan unsur logam sebagai bahan penyusunnya contohnya GFRP (*Glass Fiber Reinforced Plastics*) dan PFTE (*Polytetraflouroethylene*).

Metal gasket merupakan alternatif pengganti *gasket asbestos* dikarenakan memiliki ketahanan yang baik pada temperatur tinggi, mudah didapat, dan lebih murah dari material baru, karena karakteristik dari logam sudah diketahui, sehingga tidak perlu dilakukan riset lagi. *New corrugated metal gasket* merupakan hasil riset pengembangan tipe *corrugated metal gasket* yang memiliki permukaan

yang bergelombang dan memiliki ciri khas yaitu terdapat daerah antar gelombang (Saeed dkk, 2008). Kelebihan *gasket* tipe ini adalah mampu menghasilkan *contact stress* yang besar pada daerah permukaannya dan memiliki sifat elastis (*spring effect*) pada daerah antar gelombang. *Contact stress* yang sangat besar menyebabkan gaya yang dibutuhkan saat pengetatan baut (*clamping load*) menjadi lebih kecil. Kelebihan adanya *spring effect* adalah untuk mengurangi pengaruh fenomena *gasket relaxation*, sehingga ketika terjadi pengurangan keketatan baut, *gasket* yang memiliki karakter *spring effect* akan berusaha tetap menekan permukaan *flange*, sehingga pada sambungan *flange* tetap terjaga lebar kontak (*contact width*) untuk mencegah terjadinya kebocoran.

Moch. Agus Choiron (2011) melakukan optimasi desain bentuk *new corrugated metal gasket* ukuran 25A dengan memvariasikan Configuration (C), *pitch*, *radius*, *lip height*, *thickness* dengan metode Taguchi. Metode baru pengujian juga dikembangkan dengan mengkombinasi uji *helium leak test* dan *water pressure test* untuk menguji hasil optimasi desain *gasket*. Optimasi desain menghasilkan kesimpulan tentang *gasket* yang optimal pada kondisi memiliki *contact stress* yang besar pada peningkatan *contact width* yang terjadi antara bentuk gelombang pada *gasket* dengan *flange*.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis meneliti modifikasi desain *new corrugated metal gasket* dengan mempertimbangkan faktor penurunan nilai konsentrasi tegangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang diungkapkan dalam tugas akhir ini adalah bagaimana pengaruh bentuk modifikasi desain dari *new corrugated metal gasket* ukuran 25A untuk mendapatkan desain yang optimal

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah untuk menurunkan nilai konsentrasi tegangan dari desain sebelumnya

1.4 Batasan Masalah

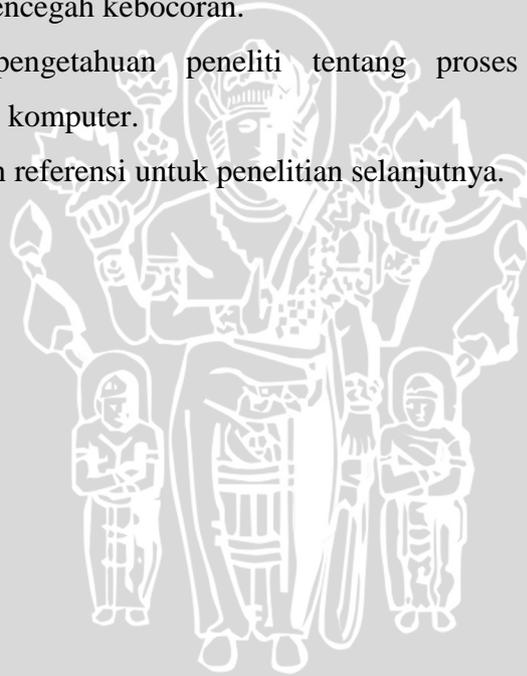
Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Memodifikasi bentuk dan parameter dari *new corrugated metal gasket* ukuran 25A.
2. Material yang digunakan adalah SUS 304.
3. *Flange* dianggap sebagai *rigid body*.
4. *Metal gasket* dianggap sebagai *deformable body*.
5. Analisis dilakukan dengan menggunakan *software* komputer MSC Marc.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui proses modifikasi desain *new corrugated metal gasket* yang baik untuk mencegah kebocoran.
2. Menambah pengetahuan peneliti tentang proses mendesain dengan menggunakan komputer.
3. Sebagai bahan referensi untuk penelitian selanjutnya.

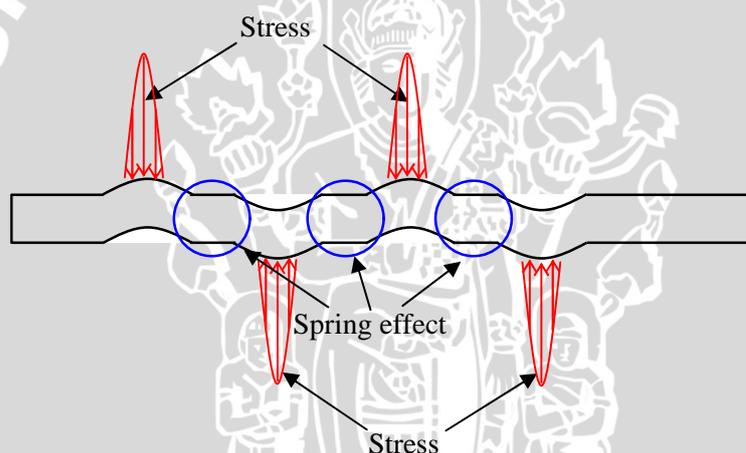


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Moch. Agus Choiron, Shigeyuki Haruyama, dan Ken Kaminishi (2011) meneliti mengenai “*Optimization of New Metal Gasket Shape by Using Simulation Experiment*”, yang menjelaskan tentang pengaruh daerah antar gelombang pada *new corrugated metal gasket* terhadap besarnya daerah *spring effect* yang terjadi. Didapatkan kesimpulan bahwa daerah antar gelombang pada *new corrugated metal gasket* akan berpengaruh terhadap besarnya daerah *spring effect* yang terjadi. Pertambahan daerah antar gelombang pada *new corrugated metal gasket* akan memperlebar daerah elastis yang diikuti dengan pengurangan daerah plastisnya, sehingga daerah *spring effect* yang terjadi semakin besar. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.1 di bawah ini:



Gambar 2.1 *Spring effect* pada daerah antar gelombang
Sumber: Moch Agus Choiron : 2011 : 2

Nao-Aki Noda, Masato Nagawa, Fumitaka Shiraishi, Akifumi Inoue, meneliti mengenai “*Sealing Performance of New Gasketless Flange*”, yang menjelaskan tentang *contact width* yang memiliki tegangan di atas tegangan elastis (daerah plastis) merupakan daerah yang dapat menahan fluida untuk mengalir melewatinya. Hal ini dikarenakan pada daerah ini, kontak yang terjadi antara *gasket* dan *flange* akan menghasilkan *sealing lines* dengan nilai *contact stress* yang tinggi, sehingga dimungkinkan untuk mencegah terjadinya kebocoran.

2.2 Analisa Tegangan dan Regangan

2.2.1 Tegangan

Tegangan adalah suatu ukuran intensitas pembebanan yang dinyatakan oleh gaya dan dibagi oleh luas di tempat gaya tersebut bekerja (Iremonger, 1990). Secara matematis dirumuskan sebagai berikut :

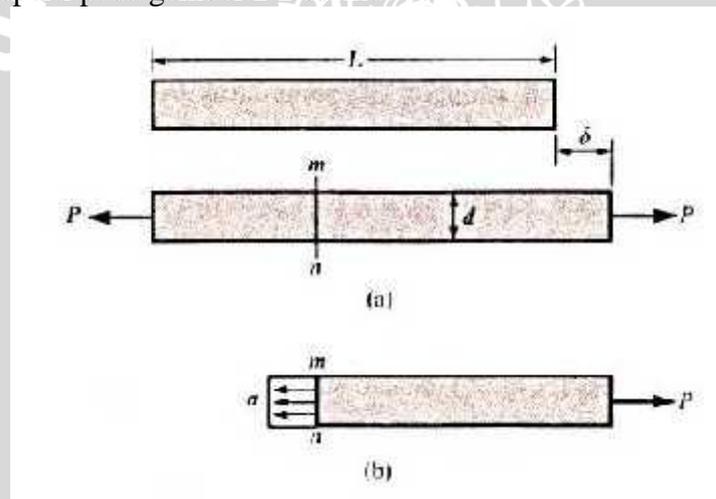
$$\tau = \frac{P}{A} \quad (2-1)$$

Dimana: τ = besarnya tegangan (Mega Pascal)

P = besarnya gaya yang bekerja (N)

A = luas penampang (m^2)

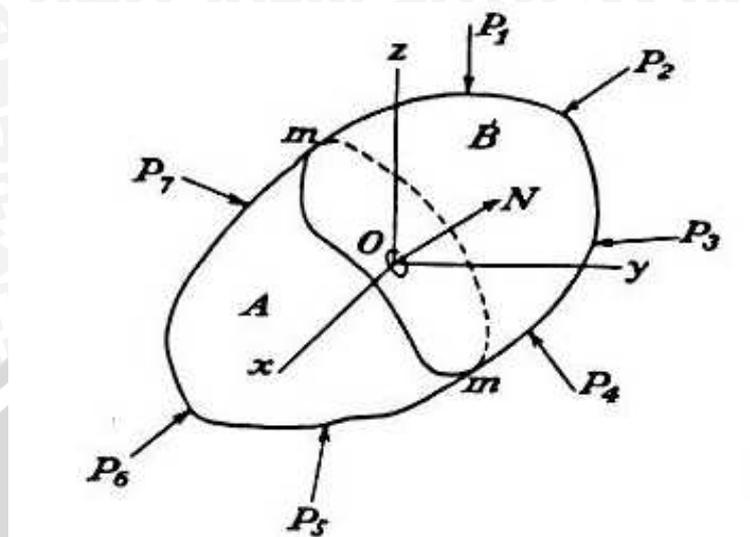
Pada kasus sederhana, dapat ditunjukkan oleh sebuah batang yang panjangnya L , kemudian diberikan gaya aksial pada batang tersebut sehingga terjadi pertambahan panjang (ΔL) seperti pada gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 Batang yang diberi gaya aksial (P) pada ujungnya
Sumber : Gere, 1996 : 3

Untuk menyelidiki konsentrasi tegangan yang terjadi, maka dibuat potongan $m-n$. Kemudian batang yang sudah di potong tersebut dipisahkan menjadi sebuah *free body*. Gaya aksial P bekerja pada satu sisi, sedangkan sisi yang lain timbul gaya aksi dari batang yang dipotong. Gaya tersebut terdistribusi merata di sepanjang permukaan batang yang besarnya sama dengan intensitas τ dikalikan luas penampang. Resultan gaya P besarnya sama dengan aksi dari batang tersebut tetapi arahnya berlawanan.

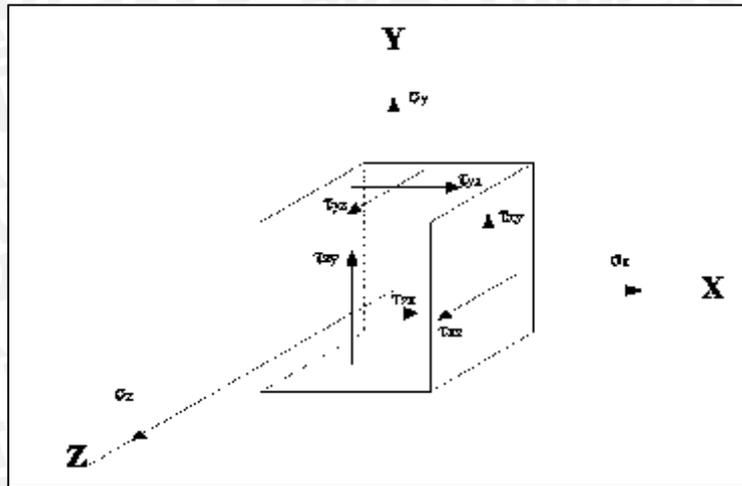
Pada kasus umum tegangan tidak terbagi merata di sepanjang potongan penampang. Hal ini bisa dilihat pada gambar 2.3 berikut :



Gambar 2.3 Benda padat yang diberi gaya dari berbagai arah
Sumber : Timoshenko, 1986 : 2

Dari gambar 2.3 di atas, tegangan tidak terbagi merata sepanjang m-m. Untuk memperoleh besar gaya yang bekerja pada luasan kecil A , misalnya dari potongan penampang m-m pada titik O sembarang, kita amati bahwa gaya yang bekerja pada elemen luas ini diakibatkan oleh kerja bahan bagian B terhadap bahan bagian A yang dapat diubah menjadi resultan P . Apabila terus ditekan luas elemen A , harga batas ratio P/A menghasilkan besar tegangan yang bekerja pada potongan penampang mm pada titik O .

Tegangan juga dapat terjadi pada suatu bidang. Tegangan yang terjadi adalah tegangan normal dan tegangan geser di semua permukaannya. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut ini:



Gambar 2.4 Tegangan pada bidang kubus
 Sumber : Gere, 1996 : 349

Penulisan tegangan pada suatu titik dapat dilakukan dengan penulisan tensorial dengan matrik sebagai berikut :

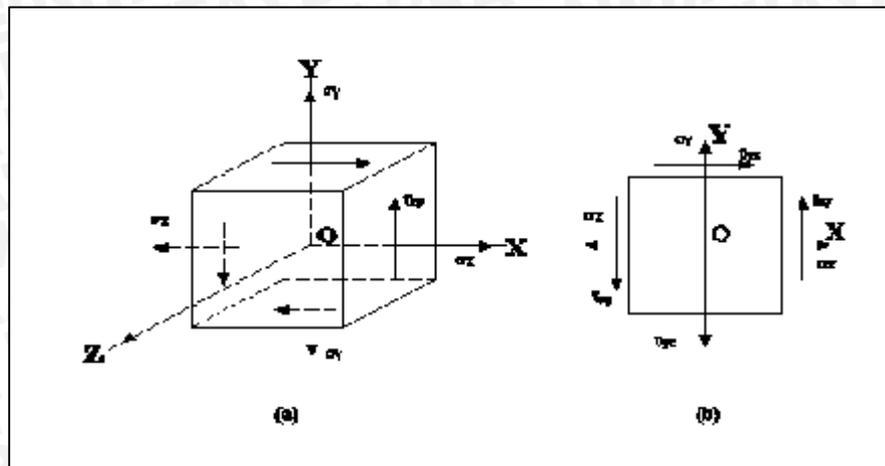
$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_{yy} & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

Arti dari penulisan tersebut adalah indeks pertama menyatakan bidang tempat tegangan tersebut bekerja, dan indeks kedua menyatakan arah tegangan tersebut. Tegangan dengan indeks pertama dan kedua sama merupakan tegangan normal, sedangkan yang indeksnya berlainan merupakan tegangan geser. Tegangan normal berharga positif, bila merupakan tegangan tarik dan bertanda negatif bila merupakan tegangan kompresi. Untuk tegangan geser berharga positif bila mempunyai kecenderungan memutar elemen kubus searah jarum jam dan bertanda negatif bila cenderung memutar elemen kubus berlawanan arah jarum jam.

Dalam menganalisa tegangan maka akan menemukan istilah tegangan prinsipal, tegangan prinsipal adalah tegangan yang bekerja pada daerah prinsipal dimana tegangan geser berharga nol dan hanya tegangan normal saja yang bekerja. Arah tegangan utama disebut arah prinsipal.

Untuk titik yang mendapat tegangan dua dimensi, artinya $\tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$ maka sumbu prinsipal ketiga dianggap berhimpit dengan sumbu z dan dengan demikian harga tegangan ke arah sumbu prinsipal ketiga akan sama dengan tegangan ke arah sumbu z yang berharga nol ($\sigma_3 = \sigma_z = 0$). Hal ini dapat digambarkan seperti pada gambar (2.5.a) dan dapat disederhanakan lagi menjadi seperti pada gambar (2.5.b).





Gambar 2.5 Menentukan tegangan prinsipal
Sumber: Timoshenko, 1986 : 306

2.2.2 Regangan

Regangan adalah perubahan bentuk tanpa diikuti perubahan dimensi untuk menyatakan adanya deformasi (Iremonger, 1990 : 17). Regangan terjadi karena adanya gaya dari luar baik berupa gaya tarik ataupun gaya tekan. Regangan yang ditimbulkan dari gaya tarik disebut *tensile strain* sedangkan regangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan disebut *compressive strain*. Karena regangan adalah perbandingan antara dua ukuran panjang, maka regangan tidak memiliki dimensi (*dimension less quantity*). Regangan dapat ditulis dalam persamaan berikut :

$$v = \frac{u}{L} \quad (2-3)$$

Keterangan : v adalah besarnya regangan

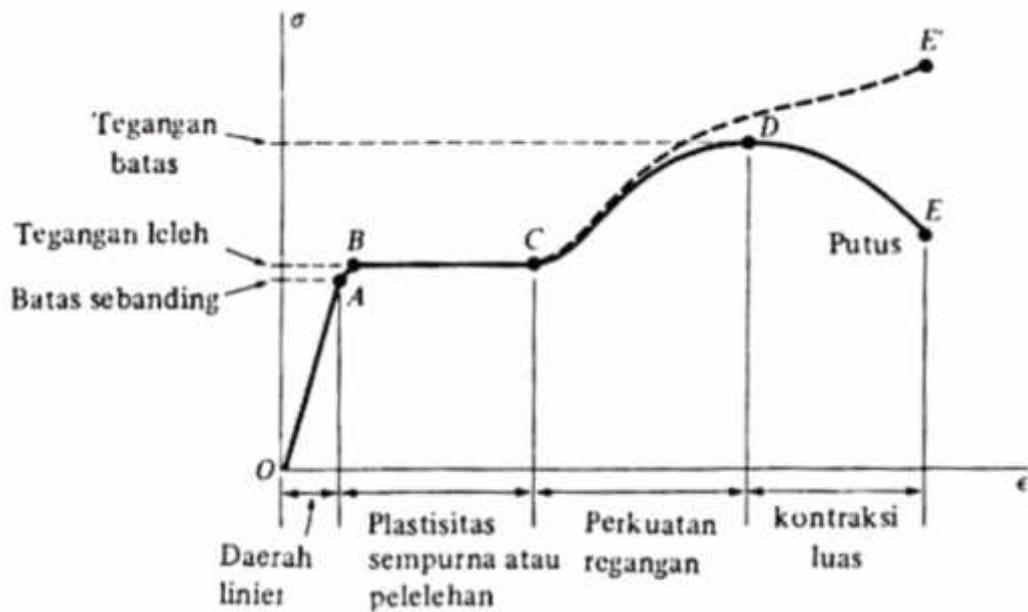
u adalah besarnya pertambahan panjang (m)

L adalah panjang awal (m)

2.2.3 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah kemampuan bahan untuk menerima beban tarik tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimum sebelum patah. Tegangan maksimum sebelum putus dianggap sebagai data terpenting yang diperoleh dari hasil pengujian tarik, karena biasanya perhitungan-perhitungan kekuatan dihitung atas dasar kekuatan tarik.

Dari hasil pengujian kekuatan tarik, dapat dibuat diagram hubungan antara tegangan dan regangan. Gambar 2.6 di bawah ini adalah diagram tegangan dan regangan untuk material baja karbon rendah.



Gambar 2.6 Diagram tegangan regangan baja karbon rendah

Sumber: Gere, 1996 : 13

Diagram tersebut dapat menjelaskan beberapa titik penting, diantaranya adalah:

Titik A adalah *proportional limit point*, yaitu titik batas antara tegangan dan regangan masih dalam keadaan proporsional atau linier. Pada daerah ini berlaku Hukum Hooke yang menyatakan pertambahan tegangan sebanding dengan pertambahan regangan. Daerah ini dinamakan daerah elastis, yaitu daerah yang jika diberikan gaya dari luar kemudian gaya dihilangkan maka akan kembali ke bentuk semula.

Titik B adalah yield point yaitu titik yang menyatakan batas antara daerah elastis dan plastis. Material akan menjadi plastis sempurna ketika sudah mencapai titik C. Apabila dilakukan pemberian gaya terus dari luar maka material akan mengalami *strain hardening* sampai pada titik *ultimate*, yaitu titik D.

Titik D adalah *ultimate point*, yaitu titik yang menunjukkan tegangan suatu bahan mencapai tegangan tertingginya. Jika tegangan terus ditambah maka bahan akan putus sampai titik patahnya (titik E). Garis putus-putus merupakan diagram tegangan regangan sejati yang menggunakan luas sebenarnya.

Pada daerah plastis, Hukum Hooke sudah tidak berlaku lagi. Persamaan yang digunakan untuk mencari tegangan pada daerah plastis adalah sebagai berikut:

$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (2-4)$$

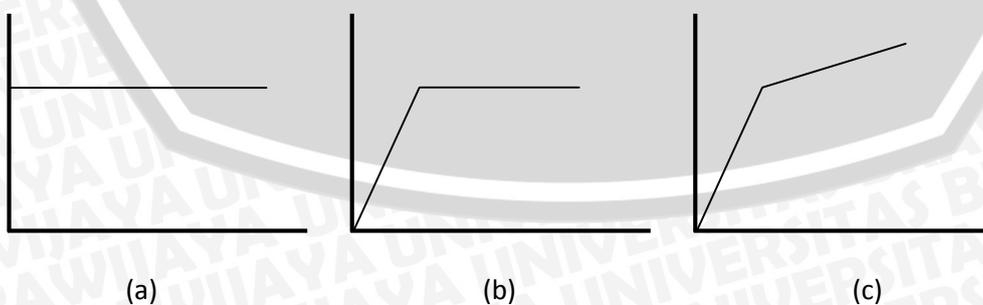
Dimana: σ = tegangan

K = konstanta penguatan

ε = regangan

n = eksponensial *strain hardening*

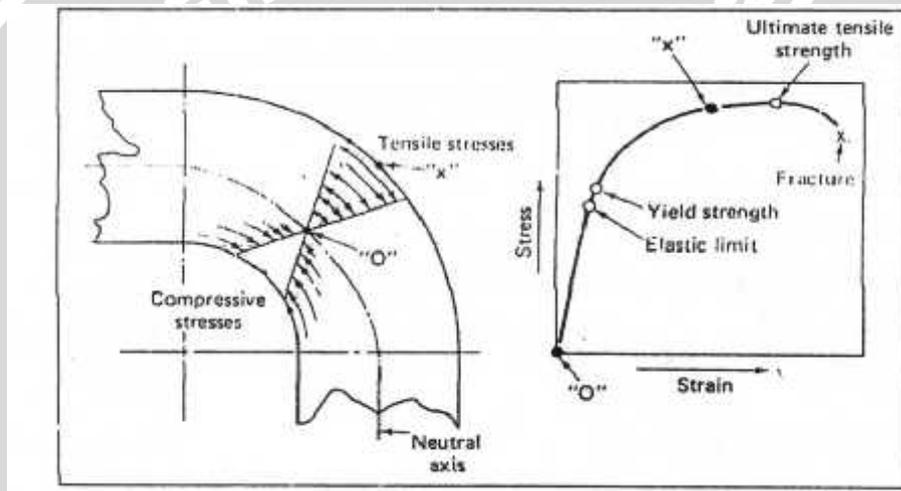
Dalam analisa untuk mendapatkan penyelesaian masalah deformasi, maka perlu untuk mengidealisasikan hubungan tegangan-regangan yang terjadi. Pada umumnya ada tiga permodelan pengidealisasian dari sudut pandang terjadinya deformasi pada material, yang pertama adalah *rigid perfectly plastic*, pada pemodelan ini material tidak mengalami deformasi elastis terlebih dahulu, namun langsung mengalami deformasi plastis pada saat diberi pembebanan sampai batas tertentu. Deformasi akan terus terjadi jika pembebanan terus dilakukan walaupun besar pembebanan tidak ditambahkan. Pada kurva diagram tegangan–regangan permodelan material ini dapat dilihat pada gambar 2.7 (a) Untuk material logam sendiri biasanya tergolong material yang *elastro-plastic*, yang mana pada material terjadi dua macam deformasi yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Pada material jenis ini permodelan yang digunakan adalah jenis (b) dan (c), yaitu *elastis perfectly plastic* dan *elastis linier strain hardening*. Pada permodelan ini material akan mengalami deformasi elastis terlebih dahulu selama diberi pembebanan sampai batas tertentu, kemudian akan mengalami deformasi plastis. Untuk *elastis perfectly plastic*, deformasi plastis yang terjadi tidak diikuti penguatan tegangan sedangkan *elastis linier strain hardening*, deformasi plastis yang terjadi akan diikuti dengan penguatan tegangan. Berikut adalah gambar kurva tegangan-regangan berbagai macam permodelan material:



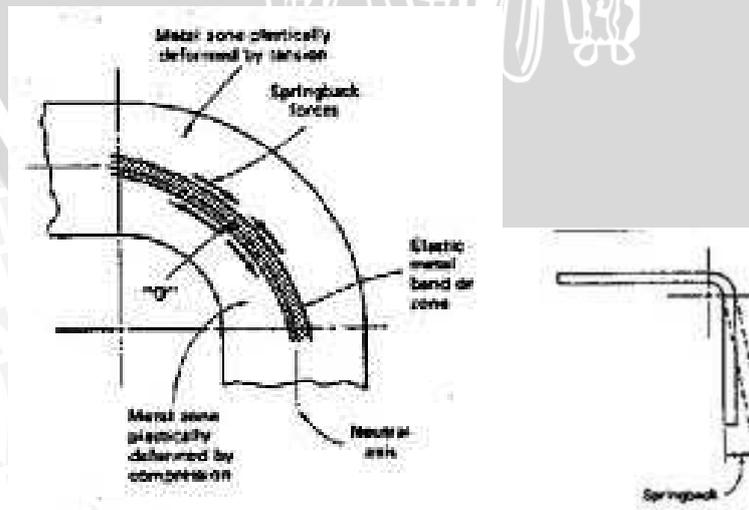
Gambar 2.7 Permodelan material pada diagram tegangan-regangan
Sumber : Dieter; 1988 : 72

2.3 Spring Effect

Variasi dari tegangan *bending* menyebabkan terjadinya *spring effect* setelah proses *bending* berlangsung. Tegangan tarik paling besar terjadi pada permukaan pelat pada saat dibengkokkan atau diluruskan. Tegangan tarik semakin kecil ke arah pusat dari tebal pelat dan bernilai nol pada sumbu netral. Gambar 2.8 menunjukkan perubahan tegangan tarik dan tegangan tekan pada daerah tekukan. Untuk menghasilkan lekukan yang sesuai dengan menghasilkan lekukan yang baik, tegangan tarik pada titik x harus lebih rendah dari tegangan *ultimate*. Daerah yang paling dekat dengan sumbu netral mengalami tegangan di bawah batas elastis. Daerah tersebut menimbulkan daerah sempit yang elastis pada kedua sisi sumbu netral, seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.8 Perubahan tegangan pada radius tekuk
Sumber: Eary, 1974 : 61



Gambar 2.9 Gaya *spring effect*
Sumber: Eary, 1974 : 61

Daerah yang jauh dari sumbu mengalami tegangan di atas kekuatan luluh dan terdeformasi secara plastis. Pada saat pelat diberi tekanan, daerah elastis logam pelat yang ditekan akan mencoba untuk kembali ke bentuk semula tetapi mendapatkan perlawanan dari daerah yang mengalami deformasi plastis. Terjadi sedikit pergerakan agar daerah elastis dan plastis mencapai keseimbangan, pergerakan tersebut dikenal sebagai sebagai *spring effect*.

2.4 Analisa Spring Effect

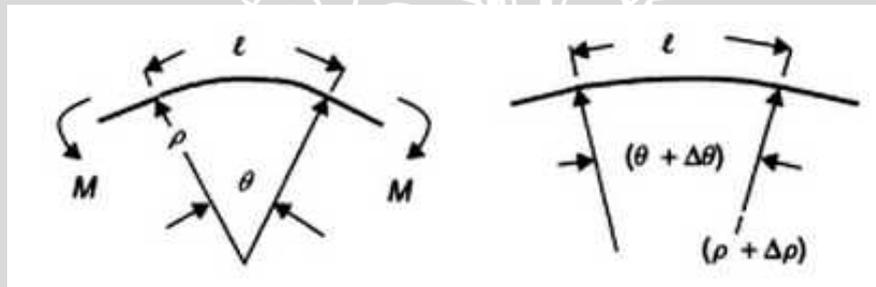
Jika sebuah pelat dibentuk dengan momen seperti pada gambar 2.9 kemudian momen tersebut dilepas, maka akan terjadi perubahan pada kelengkungan dan sudut *bending*. Panjang permukaan tengah adalah:

$$I = \rho\theta \quad I = \text{Panjang} \quad \theta = \frac{I}{\rho} \quad (2-6)$$

(2-5) = Sudut

Dengan mendefinisikan persamaan di atas dimana $I = \text{konstanta}$ yang didapatkan

$$\frac{\Delta\theta}{\theta} = \frac{\Delta(I/\rho)}{I/\rho} \quad (2-7)$$

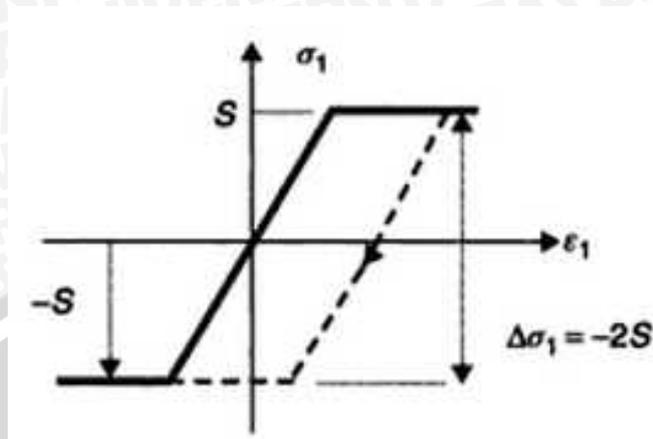


Gambar 2.10 Kondisi *unloading* dari pelat yang dibengkokkan dengan momen tanpa disertai *tension*

Sumber: Marcianak, 2002 : 92

Kurva tegangan regangan untuk elastis, plastis sempurna dimana materialnya mengalami gaya pembalikan ditampilkan pada gambar 2.11. Kondisi ini mengansumsikan bahwa efek *Bauschinger* dapat diabaikan, ini adalah fenomena pada gaya pembalikan yang telah diamati pada berbagai material. Dari gambar 2.11 perubahan pada tegangan dari $\Delta\sigma_1 = -2\sigma_2$ dapat terjadi tanpa material menjadi plastis. Jika diasumsikan bahwa kondisi *unloading* dari pelat sebagai proses elastis, persamaan *bending* elastis dapat ditulis dalam bentuk:

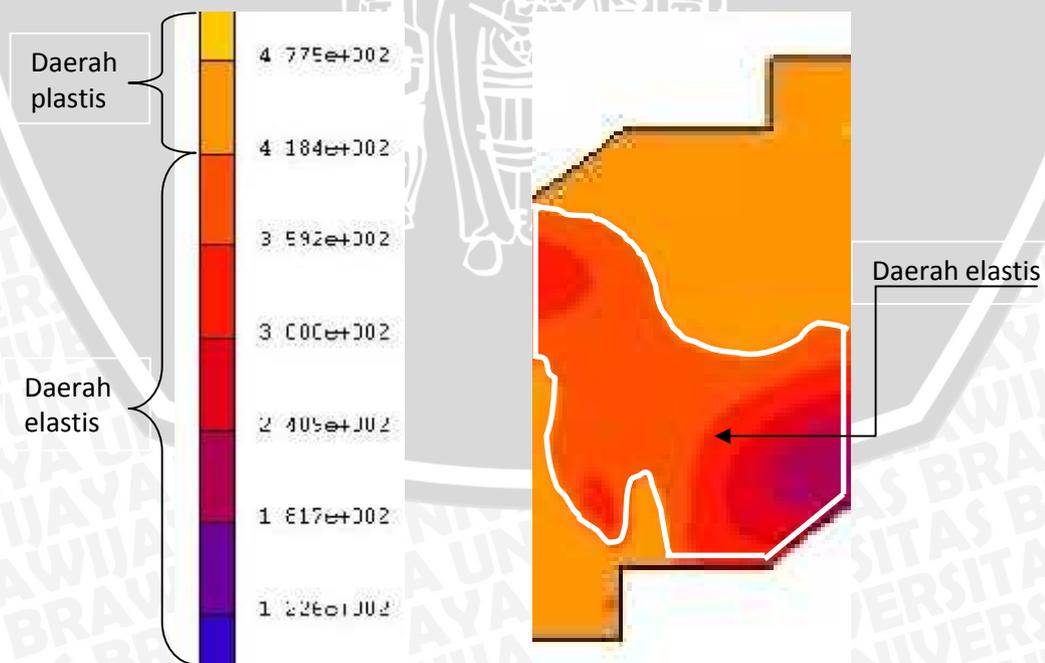
$$\frac{\Delta M}{I} = \frac{\Delta \sigma_1}{y} = \frac{\Delta \sigma_{1max}}{\frac{t}{2}} = E' \Delta \left(\frac{1}{\rho} \right) \quad (2-8)$$



Gambar 2.11 Model untuk material elastis-plastis sempurna dengan gaya pembalikan
 Sumber: Marciniak, 2002 : 93

Besarnya prosentase daerah elastis juga dapat mengindikasikan besarnya nilai *spring effect* yang dialami suatu benda. Dimana prosentase daerah elastis ini merupakan rasio perbandingan antara luasan daerah pada benda yang masih mengalami deformasi elastis dengan luasan keseluruhan dari benda tersebut.

$$\text{Prosentase daerah elastis} = \frac{\text{Luasan daerah elastis}}{\text{Luasan total}} \times 100\%$$



Gambar 2.12 Daerah elastis pada material SUS304

2.5 Metode Taguchi

2.5.1 Design Of Experiment

Metode taguchi merupakan sebuah metode pengendalian untuk meningkatkan kualitas yang digunakan dalam sebuah *Design of Experiment* (DOE). *Design of Experiment* (DOE) adalah sebuah pendekatan sistematis untuk menginvestigasi suatu sistem atau proses. Secara umum, DOE merupakan desain berisi informasi-informasi yang terkumpul berdasarkan pengalaman dan menghadirkan sebuah variasi, baik informasi tersebut berada di bawah kendali pelaku eksperimen maupun tidak. Ada beberapa hal yang mendasari DOE yaitu:

1. Comparison

Dalam beberapa kasus studi, terkadang sangat sulit untuk mendapat hasil pengukuran yang tepat. *Comparison* (perbandingan) dapat membantu untuk mengambil pilihan dari opsi yang ada. Kebanyakan orang akan membandingkan suatu hal berdasarkan standard, *scientific control*, atau perlakuan tradisional sebagai dasar penentuannya.

2. Randomization

Teori matematika jelas menekankan suatu konsekuensi yang sangat luas terhadap alokasi dari perlakuan suatu unit atau sistem dengan mekanisme random. Jika terdapat ukuran sampel yang memadai, resiko dari alokasi random akan dapat dihitung sehingga dapat dikendalikan agar mencapai *level* yang masih ditolerir.

3. Replication

Pengukuran biasanya mengarah pada variasi dan ketidakpastian. Pengukuran terus dilakukan secara berulang dan dilakukan juga pembuatan replika untuk mengidentifikasi sumber dari variasi untuk mengestimasi efek sebenarnya, memperkuat *reliability* dan *validity*, serta menambahkan pengetahuan lebih terhadap suatu topik.

4. Blocking

Blocking adalah penyusunan dari unit-unit eksperimental menjadi beberapa grup (*block*) yang terdiri dari unit-unit yang memiliki kesamaan. *Blocking* akan membantu untuk meningkatkan presisi dari sumber yang memiliki variasi.

5. Orthogonality

Orthogonality menekankan pada bertukar dari perbandingan (*contrasts*) yang dapat dijalankan secara sah dan masuk akal. *Contrasts* dapat direpresentasikan dengan vektor dan beberapa set dari *contrasts orthogonal* tidak memiliki korelasi dan

didistribusikan secara independen jika data tersebut normal. Karena independensi ini, masing-masing *treatment orthogonal* menyediakan informasi yang berbeda dari hal lainnya.

6. Factorial Experiments

Factorial experiment mengevaluasi efek dan interaksi yang memungkinkan dari beberapa faktor atau variabel independen.

2.5.2 Orthogonal Array

Orthogonal array dapat digunakan untuk menentukan kontribusi setiap faktor yang berpengaruh terhadap kualitas dan dapat diketahui tingkat faktor yang memberikan hasil yang optimal. Dengan *orthogonal array* untuk tata letak eksperimennya, maka tidak semua percobaan dilakukan atau dengan kata lain, percobaan dapat dipersingkat sehingga biaya, waktu dan materi percobaan dapat dikurangi.

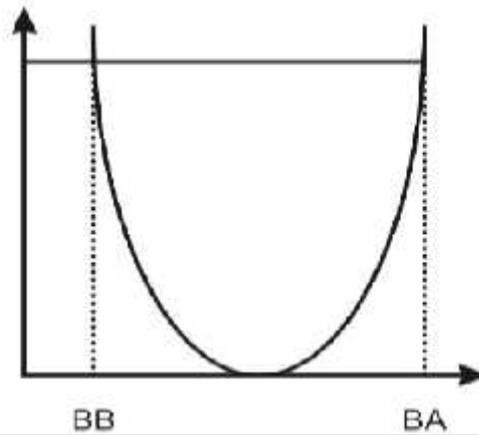
Keuntungan *orthogonal array* adalah kemampuan untuk mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah percobaan yang sedikit. Jika pada percobaan terhadap 4 faktor dengan 3 taraf, menggunakan percobaan faktorial penuh akan diperlukan 3^4 percobaan. Dengan *orthogonal array* akan dapat dikurangi percobaan yang dilakukan sehingga akan mengurangi waktu dan biaya. *Orthogonal array* telah menyediakan berbagai matriks untuk pengujian faktor-faktor dengan dua dan tiga taraf dengan kemungkinan pengembangan untuk pengujian *multiple taraf*.

2.5.3 Signal to Noise Ratio

Signal to Noise Ratio (S/N) digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi variasi suatu respon. Taguchi menciptakan transformasi dari pengulangan data ke nilai lain yang merupakan ukuran dari variasi yang ada. Transformasinya adalah *signal to noise ratio* atau rasio S/N. Perhitungan Rasio S/N yang dilakukan tergantung dari karakteristik mutu yang dituju. Karakteristik kualitas adalah hasil dari proses yang berkaitan dengan kualitas. Taguchi membagi karakteristik kualitas menjadi 3 kategori, yaitu:

1. *Nominal is the best*

Merupakan karakteristik kualitas dengan nilai yang dapat positif maupun negatif. Contoh: ketebalan, berat, tekanan, temperatur, dimensi produk, dan sebagainya.



Gambar 2.13 *Nominal is best*
 Sumber : Soejanto, 2009 : 62

Nilai S/N untuk karakteristik kualitas *Nominal is best* adalah:

$$\frac{S}{NR} = 10 \log_{10} \frac{\mu^2}{\sigma^2}$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$$

dengan : n = jumlah pengulangan dalam tiap eksperimen

y = nilai pada setiap *run*

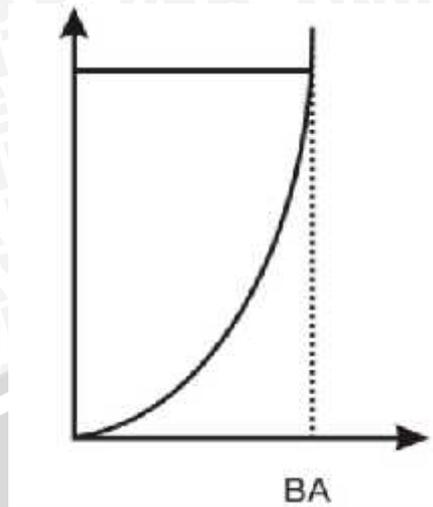
μ = rata-rata dari setiap *run*

σ^2 = deviasi dari setiap *run*

2. *Lower is better*

Merupakan karakteristik terukur non negatif dengan nilai ideal nol. Karakteristik dimana nilai dituju adalah suatu nilai terkecil. Contoh: jumlah produk cacat atau gagal, pemborosan energi, kebisingan, limbah, dan lain-lain.





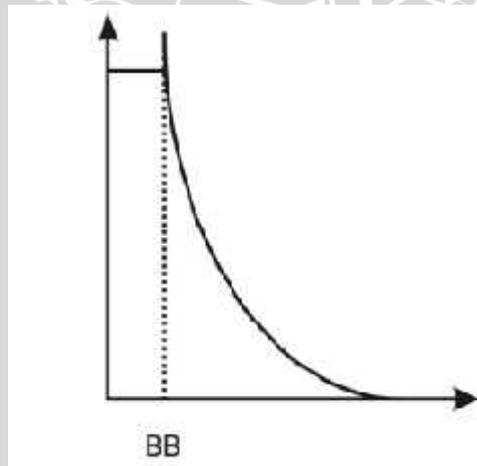
Gambar 2.14 *Lower is better*
 Sumber : Soejanto, 2009 : 63

Nilai S/N untuk karakteristik kualitas *Lower is better* adalah:

$$\frac{S}{NR} = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

3. *Higher is better*

Merupakan karakteristik terukur dengan nilai non negatif dengan nilai ideal tak terhingga. Contohnya: kekuatan bangunan, ketahanan terhadap korosi, pemakaian bahan bakar per kilometer, umur pemakaian produk, dan lainnya.



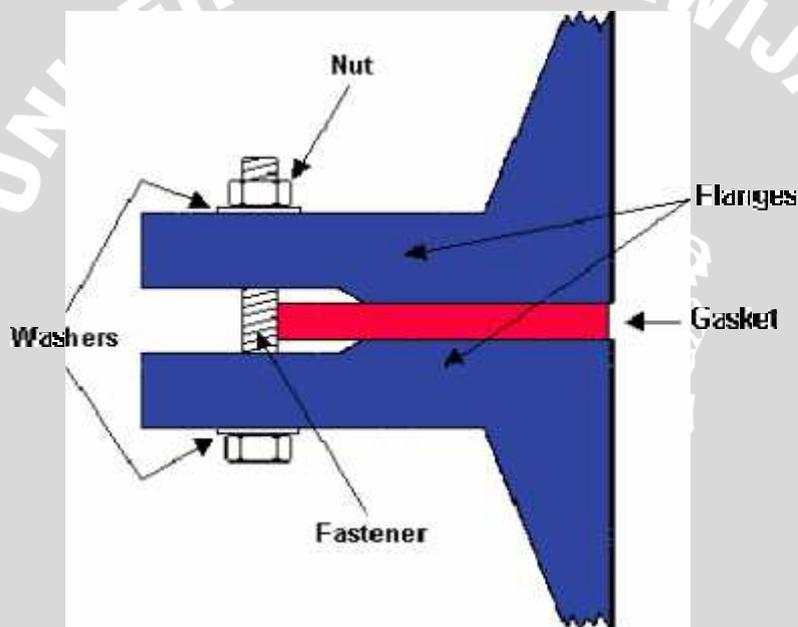
Gambar 2.15 *Higher is better*
 Sumber : Soejanto, 2009 : 63

Nilai S/N untuk karakteristik kualitas *Higher is better* adalah:

$$\frac{S}{NR} = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

2.6 Gasket

Gasket secara sederhana dapat diartikan sebagai sebagai sesuatu yang berfungsi untuk menutup atau menyegel *flange* pada pengerjaan pipa ataupun pada *process equipment* (peralatan-peralatan yang berkaitan dengan mesin). Selain definisi yang disebutkan di atas ada definisi bebas lainnya dapat dijadikan alternatif pengertian lain yaitu, sebuah alat untuk menutup atau menyegel dua permukaan dengan cara memberikan dan menyimpan energi diantara dua permukaan itu (James Walker Moorflax). Sedangkan definisi yang ketiga untuk gasket ialah sebuah segel mekanik (*mechanical seal*) yang mengisi ruang antara dua permukaan yang digabungkan, pada umumnya gasket berfungsi untuk mencegah kebocoran dari sambungan (*joined*) di bawah kondisi bertekanan (*compression*).



Gambar 2.16 *Gasket* dalam sambungan pipa
 Sumber: http://gaskets.cc/images/flange_gasket.gif

Dari dua definisi diatas dapat ditarik kesimpulan atas definisi tersebut, yaitu: keduanya menekankan pada “alat untuk menutup atau menyegel” yang disegel atau ditutup adalah celah antara dua permukaan atau *flange*. Apabila dua permukaan suatu komponen mesin contoh sebuah pipa yang saling disambungkan tidak diberi *gasket* maka peluang terjadinya kebocoran semakin besar, hal ini dikarenakan oleh tingkat kekasaran dari dua permukaan tersebut yang tidak memungkinkan dua permukaan menutup secara sempurna, dan apabila tidak disumbat atau disegel dari ketidakrataan yang muncul tersebut kebocoran dapat terjadi sewaktu-waktu.

Berdasarkan material pembentuknya *gasket* dibagi menjadi 2 bagian yaitu *gasket* berbahan *asbestos* dan *gasket non asbestos*. *Gasket non asbestos* dibagi menjadi 3 berdasar material penyusunnya yaitu :

1. *Metallic*

Metallic adalah *gasket* berbahan dasar metal atau logam, contohnya:

- *Corrugated metal gasket*
- *Flat metal gasket*
- *Ochtagonal metal gasket*

2. *Semi-metallic*

Semi-metallic gasket adalah *gasket* berbahan dasar *metal* dengan material *filler* seperti *graphite*, contohnya:

- *Spiral wound gasket*
- *Kammprofile gasket*

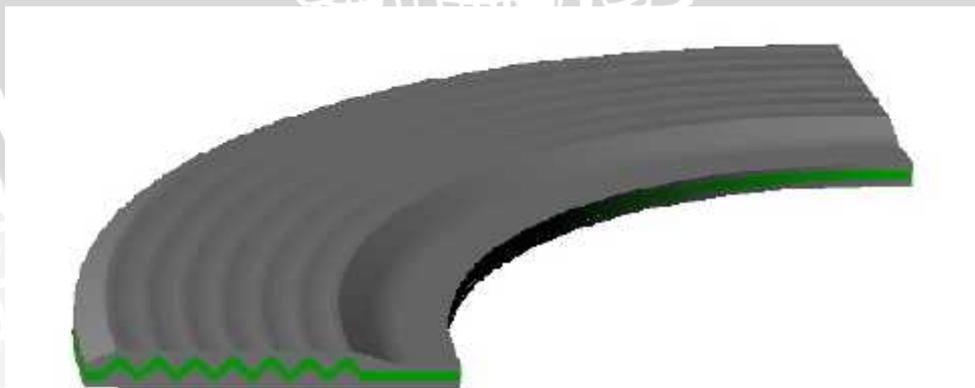
3. *Non-metallic*

Non-metallic gasket adalah *gasket* berbahan dasar *non-metal*, seperti *gasket* berbahan dasar karet, fiber dan plastik, contohnya:

- *PTFE (Polytetrafluoroethylene)*

2.6.1 *Corrugated Metal Gasket*

Corrugated metal gasket adalah salah satu *gasket* berbahan dasar *metal* dengan permukaan yang bergelombang atau beralur *concentric* pada sisinya seperti pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 *Corrugated metal gasket*

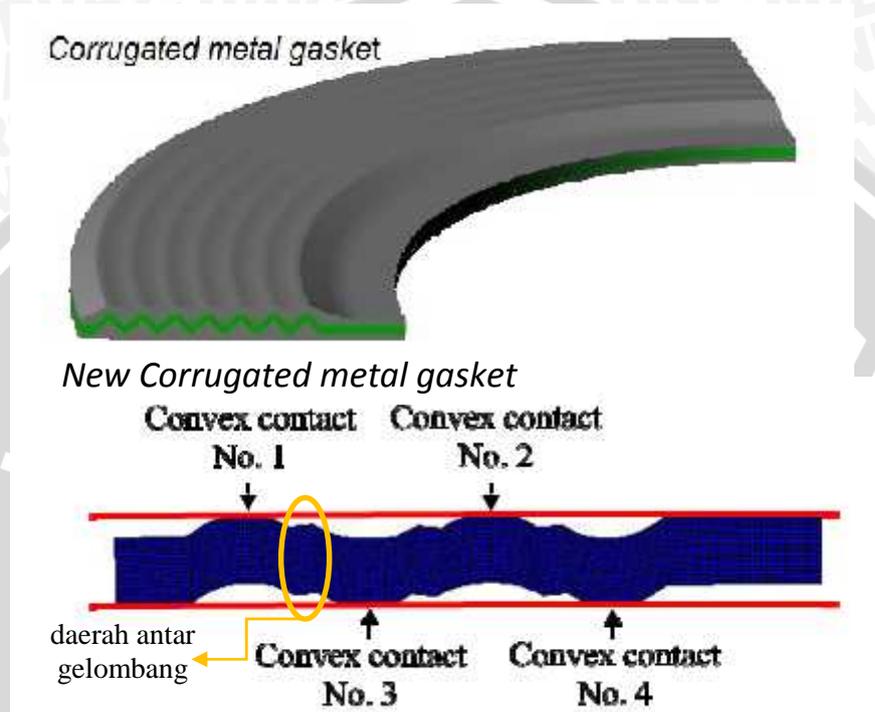
Sumber: Trianglefluid.com

Kelebihan *corrugated metal gasket* adalah *clamping load* yang dibutuhkan lebih kecil dibanding dengan *flat metal gasket*, karena permukaan *corrugated metal gasket* yang bersentuhan dengan *flange* lebih sedikit daripada *flat metal gasket* tetapi tetap

menghasilkan kemampuan menyekat yang baik, karena bentuk *convex* yang dimiliki menghasilkan *contact stress* yang besar pada *flange*.

2.6.2 New Corrugated Metal Gasket

New corrugated metal gasket adalah pengembangan dari *corrugated metal gasket*, perbedaan yang mendasar antara dua tipe gasket ini adalah adanya jarak antar gelombang pada sisi *new corrugated metal gasket* seperti pada gambar 2.18.



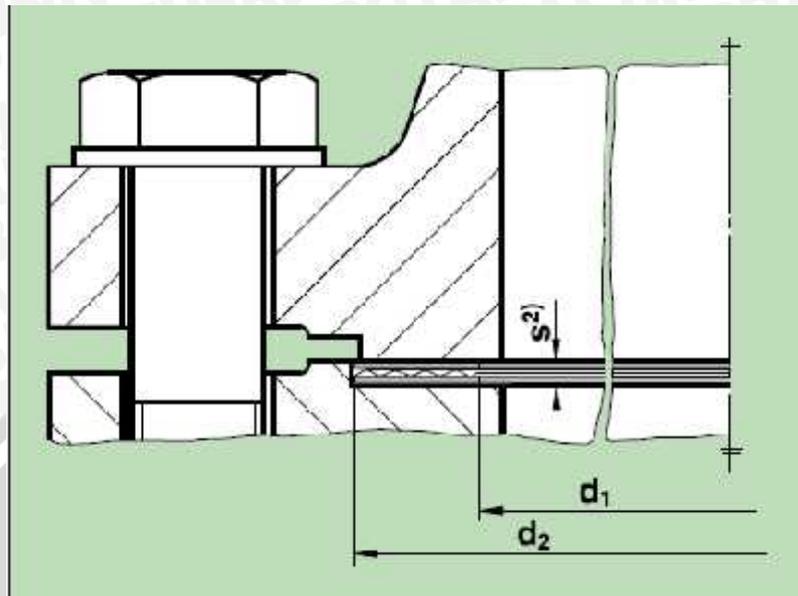
Gambar 2.18 Perbedaan *new corrugated metal gasket* dengan *corrugated metal gasket*
Sumber: Trianglefluid.com dan Choiron, Moch Agus: 2011: 2

Jarak antar gelombang akan menimbulkan *spring effect* yaitu kemampuan suatu benda untuk kembali ke bentuk semula karena kemampuan elastis. Sehingga ketika sisi *flange* mulai mengendur maka daerah antar gelombang yang ada pada *new corrugated metal gasket* akan menekan sisi *convex* dari *new corrugated metal gasket* untuk terus bersinggungan dengan sisi *flange* sehingga tetap memberikan tegangan kontak yang besar walaupun sisi *flange* mengendur dan mencegah terjadinya kebocoran.

2.6.3 Pengkodean pada Corrugated Metal Gasket

Penggunaan *corrugated metal gasket* sudah jamak digunakan pada dunia industri. Oleh karena itu para perusahaan manufaktur yang memproduksi gasket memproduksi gasket dengan penomoran pada *gasket* tersebut sesuai dengan ukuran dan *mechanical properties* dari *gasket* yang diproduksi, sehingga memudahkan untuk memilih *gasket* sesuai dengan kebutuhan. Misalnya ditemukan *gasket* dengan kode 25

hal ini berarti *gasket* tersebut berdiameter dalam (d_1) sebesar 37 mm dan diameter keseluruhan (d_2) *gasket* sebesar 57 mm seperti pada gambar 2.19 dan tabel 2.1.



Gambar 2.19 Penampang melintang *corrugated metal gasket*
Sumber: Kemchen & Co. GmbH *buyer guide*

Tabel 2.1. Kode atau penomoran *gasket*

Dimension in mm			DN									
DN	d_1	d_2	10	16	25	40	64	100	160	250	320	400
10	18	31	18	16	16	16	16	16	16	16	16	16
15	22	39	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
20	27	50	60	60	60	60	-	-	-	-	-	-
25	36	57	70	70	70	70	82	82	82	83	92	101
32	43	65	82	82	82	82	-	-	-	-	-	-
40	49	75	90	90	90	90	103	103	105	109	119	135
50	51	87	107	107	107	107	113	119	110	124	134	150
65	77	109	127	127	127	127	137	143	143	163	170	192
80	90	120	140	140	140	140	148	154	154	170	190	207
100	115	140	162	162	168	168	174	180	180	202	220	258
125	111	175	182	182	191	191	210	217	217	242	271	301
150	189	203	218	218	234	234	247	257	257	284	311	348
175	106	233	247	247	254	265	277	287	284	316	358	402
200	220	259	272	272	281	280	308	321	321	358	398	442
250	274	312	307	308	340	350	364	391	366	447	488	-
300	320	363	377	390	400	417	424	450	450	506	-	-
350	368	421	437	443	457	471	486	512	-	-	-	-
400	401	473	489	495	514	546	543	572	-	-	-	-
450	470	524	539	555	-	571	-	-	-	-	-	-
500	520	575	581	617	621	625	657	701	-	-	-	-
600	620	675	695	734	731	747	784	813	-	-	-	-
700	720	777	810	834	833	852	879	950	-	-	-	-
800	820	882	917	911	942	941	988	-	-	-	-	-
900	920	987	1017	1011	1042	1084	1108	-	-	-	-	-
1000	1020	1091	1124	1120	1154	1194	1220	-	-	-	-	-
1200	1210	1320	1311	1312	1361	1386	1452	-	-	-	-	-
1400	1440	1520	1528	1542	1578	1616	-	-	-	-	-	-
1600	1640	1740	1772	1794	1790	1800	-	-	-	-	-	-
1800	1840	1840	1972	1964	2000	-	-	-	-	-	-	-
2000	2010	2140	2182	2158	2230	-	-	-	-	-	-	-
2200	2240	2340	2394	2370	-	-	-	-	-	-	-	-
2400	2440	2540	2504	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2600	2650	2750	2781	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2800	2870	2970	3014	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3000	3080	3180	3228	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sumber: Kemchen & Co. GmbH *buyer guide*.

2.7 DFM (*Design for Manufacturing*)

DFM (*Design for Manufacturing*) adalah integrasi desain produk dan proses perencanaan menjadi satu kegiatan bersama. Tujuannya adalah untuk merancang sebuah produk yang mudah dan ekonomis diproduksi. Pentingnya mempertimbangkan factor FDM disini adalah untuk merealisasikan design yang sudah dibuat dan dimodifikasi, sehingga benar benar dapat diwujudkan produknya secara nyata.

Yang harus dilakukan agar sebuah design dikatakan memenuhi kriteria DFM adalah

1. Mereduksi Jumlah Total *Part*

Pengurangan jumlah bagian dalam produk mungkin adalah terbaik kesempatan untuk mengurangi biaya produksi. Part yang seharusnya tidak perlu dibuat menggunakan material yang berbeda, tidak perlu di buat menggunakan material yang berbeda karena itu akan membuang biaya dan waktu.

2. Mengembangkan Design Modular

Penggunaan modul dalam desain produk menyederhanakan kegiatan manufaktur seperti inspeksi, pengujian, perakitan, pembelian, desain ulang, pemeliharaan, layanan, dan sebagainya. salah satu alasan adalah bahwa modul menambah fleksibilitas untuk update produk dalam proses redesign, membantu menjalankan tes sebelum final perakitan diletakkan bersama-sama, dan memungkinkan penggunaan komponen standar untuk meminimalkan variasi produk.

3. Penggunaan Komponen Standar

Penggunaan komponen yang standar jauh lebih murah dibandingkan dengan menggunakan komponen buatan sendiri. Jika menggunakan komponen dari buatan sendiri, akan terbentur masalah pada target produksi masal . Kualitas yang dihasilkan juga belum tentu bisa sama di setiap produknya jika menggunakan buatan sendiri.

4. Design Multi Fungsional

Sebisa mungkin dalam membuat suatu design produk, design tersebut dapat menjadi multi fungsi sehingga jika ada part lain yang fungsinya sama , tidak perlu membuat design lagi

5. Mudah untuk Difabrikasi

Design yang kita buat, harus bisa dibuat atau di fabrikasi. Percuma jika kita membuat design suatu produk, jika produk tersebut tidak dapat dibuat secara nyata, dalam artian kesulitan dalam fabrikasinya. Pemilihan ukuran, jenis material, toleransi, harus tepat dan sesuai dengan alat yang ada di pasaran.

Karena jika kita membuat design dengan ukuran atau jenis material yang tidak ada di pasaran, itu akan menambah biaya produksi lagi untuk membuat alat atau membuat material tersebut

6. Hindari Pembuatan Design Rumit

Sebisa mungkin hindari pembuatan design yang berbelit belit. Design yang dibuat harus sesimpel mungkin dan praktis. Memodifikasi design sebuah produk, bukan berarti membuat bentuk produk tersebut menjadi semakin sulit untuk dibuat. Justru sebaliknya, yang awalnya design tersebut tidak dapat dibuat atau difabrikasikan, dengan kita modifikasi design tersebut harus dapat dibuat

7. Minimalkan Perakitan

Jika membuat atau memodifikasi suatu produk, hendaknya produk tersebut siap pakai. Sebisa mungkin minimalkan perakitan, sehingga konsumen tidak perlu lagi merakit design yang kita buat

8. Pemilihan Material yang Aman

Minimalkan pemilihan material design yang berbahaya bagi konsumen. Kalau memang menggunakan material yang berbahaya, cantumkan kode dari material sehingga konsumen dapat mengetahui bahaya dari material dari design yang kita buat

2.8 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan prosedur numerik untuk memperoleh solusi permasalahan yang ditemukan analisa teknik. Konsep dasar MEH adalah membagi struktur menjadi elemen-elemen yang lebih kecil dengan dimensi berhingga, sedangkan struktur asli dianggap sebagai *assembly* dari elemen hingga tersebut. Berdasarkan konsep dari Metode Elemen Hingga, yaitu proses diskretisasi, maka suatu sistem akan dibagi-bagi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Ada berbagai jenis elemen yang dapat dipakai dan dipilih berdasarkan jenis struktur dan keperluannya. Secara garis besar, elemen dibagi menjadi:

1. Elemen satu dimensi
2. Elemen dua dimensi
3. Elemen selaput (*shell*)
4. Elemen tiga dimensi

Masing-masing jenis elemen diatas masih dapat dikembangkan lagi menurut kebutuhan, antara lain jenis struktur dan ketelitian yang diinginkan.

2.8.1 Elemen Satu Dimensi

Elemen satu dimensi dapat dipakai dalam berbagai jenis keperluan. Misalnya untuk menganalisa sebuah portal atau rangka batang rata dan lain-lain yang akan dibahas tersendiri.

Elemen satu dimensi ini dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

- a) Elemen batang, digunakan bila peralihan yang terjadi hanya menurut satu koordinat.
- b) Elemen balok, digunakan bila elemen berbentuk balok dengan 3 translasi dan 3 rotasi pada tiap titik nodalnya.

2.8.2 Elemen Dua Dimensi

Menurut bidang pernbeganannya, maka elemen dua dimensi dibagi menjadi:

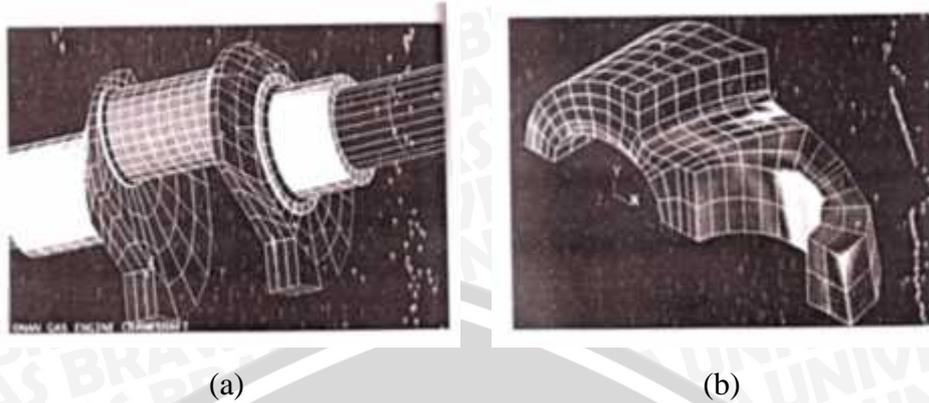
- a) Elemen bidang, bila beban terletak pada bidang elemen (*in-place loading*), sehingga peralihan terjadi pada bidangnya.
- b) Elemen Pelat, bila beban tegak lurus bidang elemen (*face loading*), sehingga peralihan yang terjadi akan keluar bidang elemen.

Bentuk paling sederhana dari elemen dua dimensi ini adalah elemen segitiga dengan tiga titik nodal, kemudian elemen segiempat dengan empat titik nodal. Bila dikehendaki ketelitian yang lebih tinggi, maka jumlah titik nodal tiap elemen dapat ditingkatkan dan juga dibuat elemen isoparametrik.

2.8.3 Elemen Selaput (*Shell*)

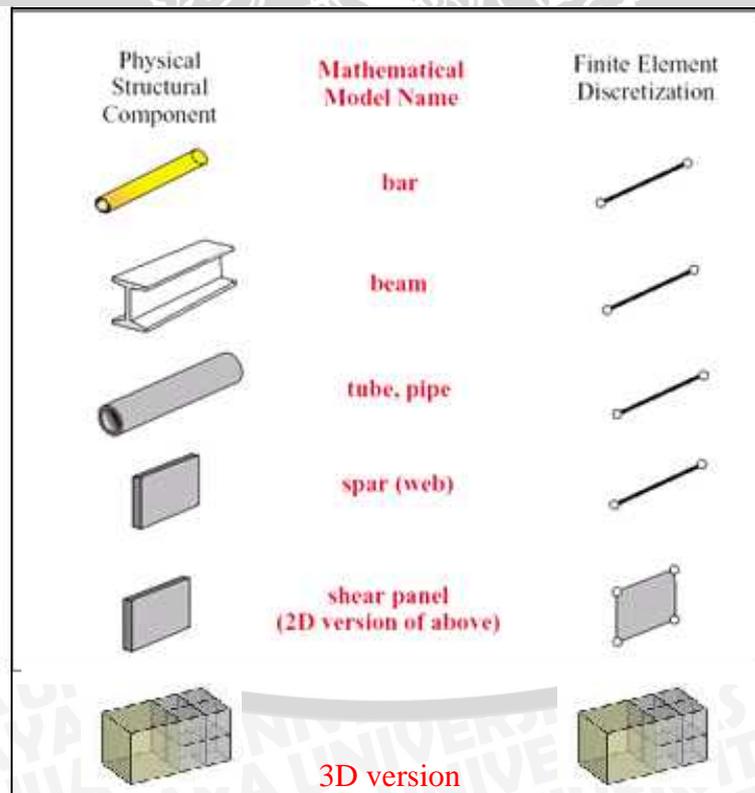
Elemen ini mempunyai sebuah arah ukuran yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan ukuran dua arah lainnya, baik untuk beban pada bidangnya maupun beban tegak lurus bidangnya. Dan bidang elemen ini dapat tidak rata atau rata seperti pada elemen bidang atau elemen pelat.

Berkembangnya metode numerik yang didukung oleh kemampuan komputasi ternyata makin menjadi alternatif dalam menyelesaikan kasus-kasus *engineering*. Salah satunya adalah metode elemen hingga yang merupakan solusi numerik dengan proses diskretisasinya, yaitu membagi struktur menjadi elemen-elemen kecil yang memiliki geometri yang lebih sederhana dengan jumlah yang masih berhingga. Metode ini digunakan terutama untuk penyelesaian yang menyangkut dimensi benda yang tidak teratur dan pembebanan kompleks. Tujuan utama penggunaan metode ini adalah untuk memperoleh nilai pendekatan tegangan dan perpindahan yang terjadi pada suatu struktur.



Gambar 2.20 (a) Gas engine crankshaft, (b) joy swivel link
 Sumber : Zahavi, 1992

Pemakaian Metode Elemen Hingga (MEH) selama ini antara lain untuk menganalisa struktur, yang berada pada pengaruh pembebanan (gaya maupun tekanan), gradien temperatur yang akan memberikan akibat berupa deformasi, tegangan maupun perubahan temperatur yang dialami oleh struktur tersebut. Tujuan utama dari analisa ini adalah untuk memperoleh nilai pendekatan tegangan dan perpindahan yang terjadi pada struktur tersebut.



Gambar 2.21 Diskretisasi Elemen
 Sumber: Modul ANSYS 2009, Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem

Prosedur perhitungan dengan Metode Elemen Hingga (MEH)

1. Diskretisasi dan pemilihan elemen

Proses ini adalah proses pembagian struktur menjadi elemen-elemen kecil yang lebih sederhana yang dihubungkan pada titik simpul (*node*), kemudian dilakukan pemilihan elemen seperti model awal dari struktur. Hal ini dilakukan untuk mempermudah analisa.

2. Memilih fungsi pendekatan

Variasi perpindahan pada suatu elemen didekati dengan fungsi interpolasi yang didasarkan pada harga simpul yang mengitari. Fungsi yang paling umum digunakan adalah polinomial. Pendekatan dengan fungsi interpolasi ini disebabkan karena sulitnya mencari jawaban tertutup, sehingga dipilih suatu bentuk jawaban, yaitu distribusi perpindahan yang merupakan besaran yang tidak diketahui dengan memakai fungsi yang harus memenuhi hukum, prinsip dan syarat batas yang menjadi sifat persoalan yang ada.

3. Menurunkan persamaan matrik kekakuan [k]

Dengan prinsip usaha virtual akan dihasilkan persamaan matrik kekakuan elemen yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\mathbf{K} = \int_V [\mathbf{B}^T] [\mathbf{E}] [\mathbf{B}] dV \quad (2-9)$$

Dimana: [k] : matrik kekakuan elemen segiempat

[B] : matrik konstitutive hubungan regangan dan perpindahan

[E] : matrik konstitutive hubungan tegangan dan regangan material

Adapun matrik B untuk elemen segiempat adalah sebagai berikut :

$$B_i = \begin{bmatrix} f_{ix} & 0 \\ 0 & f_{iy} \\ f_{ix} & 0 \end{bmatrix}$$

4. Menghitung matrik beban total

Beban yang bekerja didefinisikan menjadi 3 macam, sehingga beban total adalah:

$$\mathbf{R} = \mathbf{Q}_{NF} + \mathbf{Q}_{BF} + \mathbf{Q}_T \quad (2-10)$$

Dimana: \mathbf{Q}_{NF} : beban pada konsentrasi nodal

\mathbf{Q}_{BF} : beban *body force* (akibat beban sendiri)

\mathbf{Q}_T : beban traksi (*surface traction*)

5. Merakit elemen menjadi struktur

Perakitan persamaan elemen akan dibawa ke bentuk persamaan global, yang

prosesnya harus memenuhi sifat konvergen dan sifat sinambung. Salah satunya antara lain: titik-titik yang semula bersebelahan harus tetap bersebelahan satu sama lain setelah elemen dikenai beban. Bentuk persamaan global elemen yaitu:

$$[K_g] \{q\} = \{R\} \quad (2-11)$$

Dimana: $[K_g]$: matrik kekakuan global.

$\{q\}$: vektor perpindahan simpul.

$\{R\}$: matrik beban total.

Setelah matrik kekakuan global diperoleh dan syarat-syarat batasnya dimasukkan maka perpindahan simpul (q) dapat dicari. Suatu syarat batas memberikan informasi bagaimana struktur ditopang dalam ruang, dengan memasukkan nilai perpindahan yang telah ditetapkan sesuai kondisi pada struktur.

6. Mendapatkan perpindahan global

Persamaan global yang telah mendapatkan syarat batas, merupakan sekumpulan persamaan linier yang secara umum dapat ditulis sebagai berikut:

$$k_{1,1} q_1 + k_{1,2} q_2 + \dots + k_{1,n} q_n = R_1 \quad (2-12)$$

$$k_{2,1} q_1 + k_{2,2} q_2 + \dots + k_{2,n} q_n = R_2$$

.....

$$k_{n,1} q_1 + k_{n,2} q_2 + \dots + k_{n,n} q_n = R_n$$

Persamaan di atas akan diselesaikan dengan cara eliminasi Gauss untuk mendapatkan besaran-besaran primer yaitu $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$.

7. Mendapatkan besaran sekunder dan interpretasi hasil

Dari besaran pertamanya yang berupa perpindahan, dapat dicari besaran sekunder yang dapat berupa tegangan maupun regangan, dengan menggunakan hubungan antara keduanya. Hubungan tegangan-regangan pada kondisi 3D dapat dinyatakan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$E = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & -\nu & 0 \\ -\nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \quad (2-13)$$

Hubungan tersebut dapat ditulis dalam bentuk simbol berikut :

$$\{\sigma\} = [E] \{\epsilon\} \quad (2-14)$$

Hubungan regangan dengan perpindahan adalah :

$$\{\epsilon\} = [B] \{d\} \quad (2-15)$$

Sehingga tegangan dapat dirumuskan sebagai :

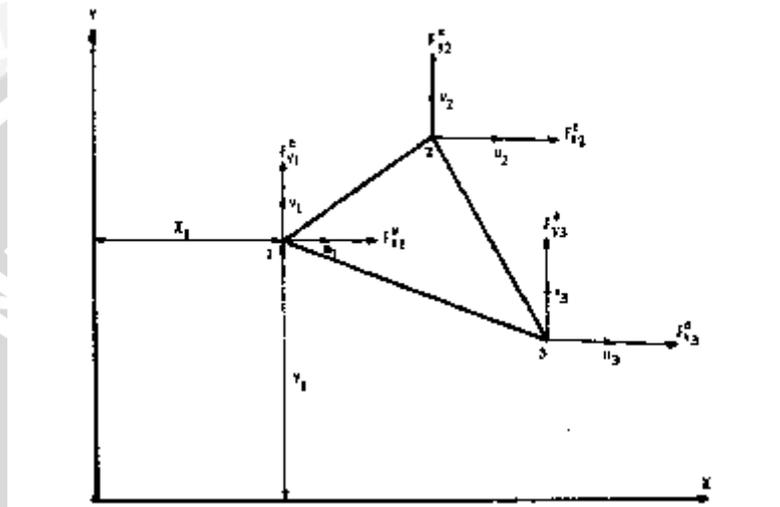
$$\{\sigma\} = [E] [B] \{d\} \quad (2-16)$$

Hasil akhir dari perhitungan dengan metode elemen hingga ini berupa harga distribusi tegangan yang akan diplot di sepanjang struktur untuk dianalisis sesuai dengan rumusan masalah yang ada.

Macam-macam bentuk elemen solid 2-D pada Elemen Hingga

1. Elemen Segitiga

Elemen hingga berbentuk segitiga didefinisikan dalam dua sumbu koordinat x dan y dengan tiga titik nodal.



Gambar 2.22 Elemen hingga segitiga

Sumber : Elemen Hingga Untuk Analisa Struktur, 1989

Hubungan regangan-peralihan untuk elemen segitiga dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix}$$

Hubungan tegangan regangan pada bidang untuk elemen hingga berbentuk segitiga adalah sebagai berikut :

$$E = \frac{E}{(1+\nu)(1-\nu)} \begin{bmatrix} e_1 & \nu & 0 \\ \nu & e_1 & 0 \\ 0 & 0 & e_3 \end{bmatrix}$$

Dalam persamaan matriks ini konstanta elastisitas untuk tegangan bidang adalah :

$$e_1 = 1 \quad e_2 = 1 - \nu \quad e_3 = \frac{e_2}{2}$$

Sedangkan untuk regangan bidang menjadi :

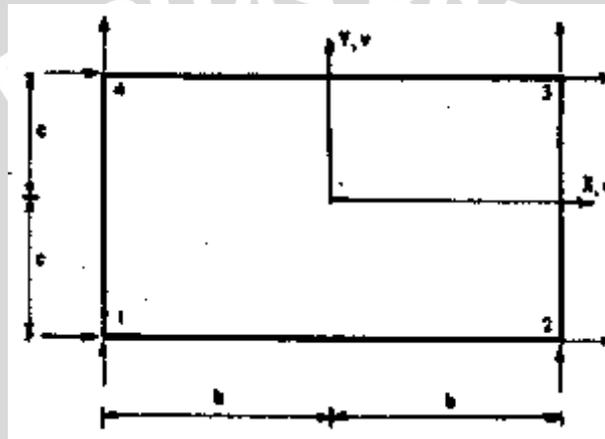
$$e_1 = 1 - \nu \quad e_2 = 1 - 2\nu \quad e_3 = \frac{e_2}{2}$$

Sehingga didapatkan persamaan untuk menghitung kekakuan elemen dengan persamaan sebagai berikut :

$$\mathbf{K} = \int_v [\mathbf{B}^T][\mathbf{E}][\mathbf{B}]dV = \mathbf{K} = [\mathbf{B}^T][\mathbf{E}][\mathbf{B}]A_{ijk} = \mathbf{K}_1 + \mathbf{K}_2$$

2. Elemen Segiempat

Elemen hingga berbentuk segiempat didefinisikan dalam dua sumbu koordinat x dan y dengan empat titik nodal.



Gambar 2.23 Elemen hingga segiempat

Sumber : Elemen Hingga Untuk Analisa Struktur, 1989

Hubungan regangan-peralihan untuk elemen segitiga dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$B_i = \begin{bmatrix} f_{ix} & 0 \\ 0 & f_{iy} \\ f_{ix} & 0 \end{bmatrix} \quad (i = 1,2,3,4)$$

Hubungan tegangan regangan pada bidang untuk elemen hingga berbentuk segitiga adalah sebagai berikut :

$$\mathbf{E} = \frac{1}{1 - \nu_{xy}\nu_{yx}} \begin{bmatrix} E_x & \nu_{xy}E_x & 0 \\ \nu_{yx}E_y & E_y & 0 \\ 0 & 0 & (1 - \nu_{xy}\nu_{yx})G_{xy} \end{bmatrix}$$

Sehingga didapatkan persamaan untuk menghitung kekakuan elemen dengan persamaan sebagai berikut :

$$\mathbf{K} = \int_v [\mathbf{B}_c^T][\mathbf{E}][\mathbf{B}_c]dV$$

2.9 Software Komputer

Software komputer yang berbasis elemen hingga mempunyai kelebihan dalam mendeskripsikan model dengan sangat halus, mampu memproses elemen yang banyak dan menghasilkan ketelitian yang tinggi. *Software* yang berbasis metode elemen hingga (*finite element methode*) dapat digunakan untuk menganalisis struktural, analisis termal, analisis elektris, analisis magnetis, dan analisis fluida. Secara umum langkah-langkah analisisnya dibagi menjadi tiga yaitu:

2.9.1 Preprocessing

Pada proses ini dilakukan permodelan dari benda kerja antara lain:

- a. Pembuatan bentuk geometri benda kerja
- b. Mendefinisikan tipe elemen sesuai dengan bentuk benda kerja
- c. Menetapkan *material properties* dari benda kerja
- d. Diskritisasi model geometri menjadi elemen hingga (*meshing*)

2.9.2 Solution

Pada tahap ini mendefinisikan jenis analisa yang akan dipakai, memasukkan kondisi batas (*constrain*), menerapkan pembebanan, dan inisialisasi penyelesaian elemen hingga.

2.9.3 Postprocessing

Pada tahap ini menampilkan pembacaan hasil analisis dari proses *solution* dalam bentuk tabel, grafik, maupun dalam bentuk plot kontur pada model.

2.10 Hipotesis

Pada *new corrugated metal gasket*, semakin besar prosentase daerah elastis pada daerah antar gelombang, maka semakin besar *spring effect* yang terjadi. Sehingga *contact stress* yang dihasilkan akan semakin besar.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental semu. Digunakan untuk memperoleh informasi yang diperoleh dalam eksperimental sungguhan (nyata). Dimana penulis melakukan pengujian tidak secara langsung melainkan dengan bantuan komputer sebagai alat untuk memproses perhitungan dan simulasinya.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang pada bulan February 2013 sampai dengan selesai.

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi nilai variabel terikat. Besarnya nilai ditentukan oleh peneliti dan harganya divariasikan untuk mendapatkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dari objek penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Jarak antar titik pusat gelombang(P) = 3,75 ; 4 mm
2. Configurasi (C) = 1x1 ; 2x1 ; 2x2
3. Tebal pelat (t) = 1,25 ; 1,5 ; 1,75 mm
4. Jari-jari gelombang luar (R) = 1,25 ; 1,5 ; 1,75 mm
5. Jari-jari gelombang dalam (R')
6. Tinggi permukaan gelombang atas (h) = 0,20 ; 0,25 ; 0,3 mm
7. Tinggi permukaan gelombang bawah (h') = 0,15 ; 0,20 ; 0,25 mm



Gambar 3.1 Geometri *Corrugated Metal Gasket 25A*

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya bergantung pada variabel bebas yang diberikan. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah *contact stress* akibat *spring effect* yang terjadi.

3.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol merupakan variabel yang nilainya dijaga tetap (konstan) selama penelitian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah:

- *Material properties*
- Koefisien gesek 0,15
- Data ukuran mata bor CNC (*Computer Numerical Control*)

Type No. A100
 Formerly Types: 0101, 0103, 0107
 ANSI standard also available: Type A150.
 See separate brochure for TiN range.

Diameter	Decimal		Flute		Overall	
	Inches	mm	Length	Length	Length	Length
	Gauge	Inches	Inches	mm	Inches	mm
1/64	25	0098	1/8	3	3/4	19
	30	0118	1/8	3	3/4	19
	32	0126	5/32	4	3/4	19
	35	0138	5/32	4	3/4	19
	36	79	0145	5/32	4	3/4
1/64	38	0160	5/32	4	3/4	19
	40	0156	3/16	5	13/16	20
	40	78	0157	3/16	5	13/16
		0160	3/16	5	13/16	20

Gambar: 3.2 Data ukuran mata bor CNC

Sumber: SKF & Dormer Tools CNC 2010 , hal 17

3.4 Bahan dan Peralatan Penelitian

Karakteristik material baja tahan karat SUS 304 yang akan disimulasikan adalah sebagai berikut:

- Modulus Elastisitas (E) = 210 GPa
- *Poisson ratio* (ν) = 0,3
- Tegangan *Yield* (σ_y) = 398,83 Mpa
- Tangent Modulus (H) = 1.900,53 Mpa

3.5 Langkah-langkah Simulasi

3.5.1 Preprocessing

Pada tahap ini dilakukan pemodelan *metal gasket 25A*

1. Pembuatan bentuk geometri 2 dimensi.
2. Mendefinisikan tipe elemen dari *metal gasket 25A*.
3. Memasukkan *material properties* dari *metal gasket 25A*.
4. Diskritisasi model menjadi elemen hingga (*meshing*).
5. Menentukan pembebanan penetrasi berupa kecepatan.

3.5.2 Solution

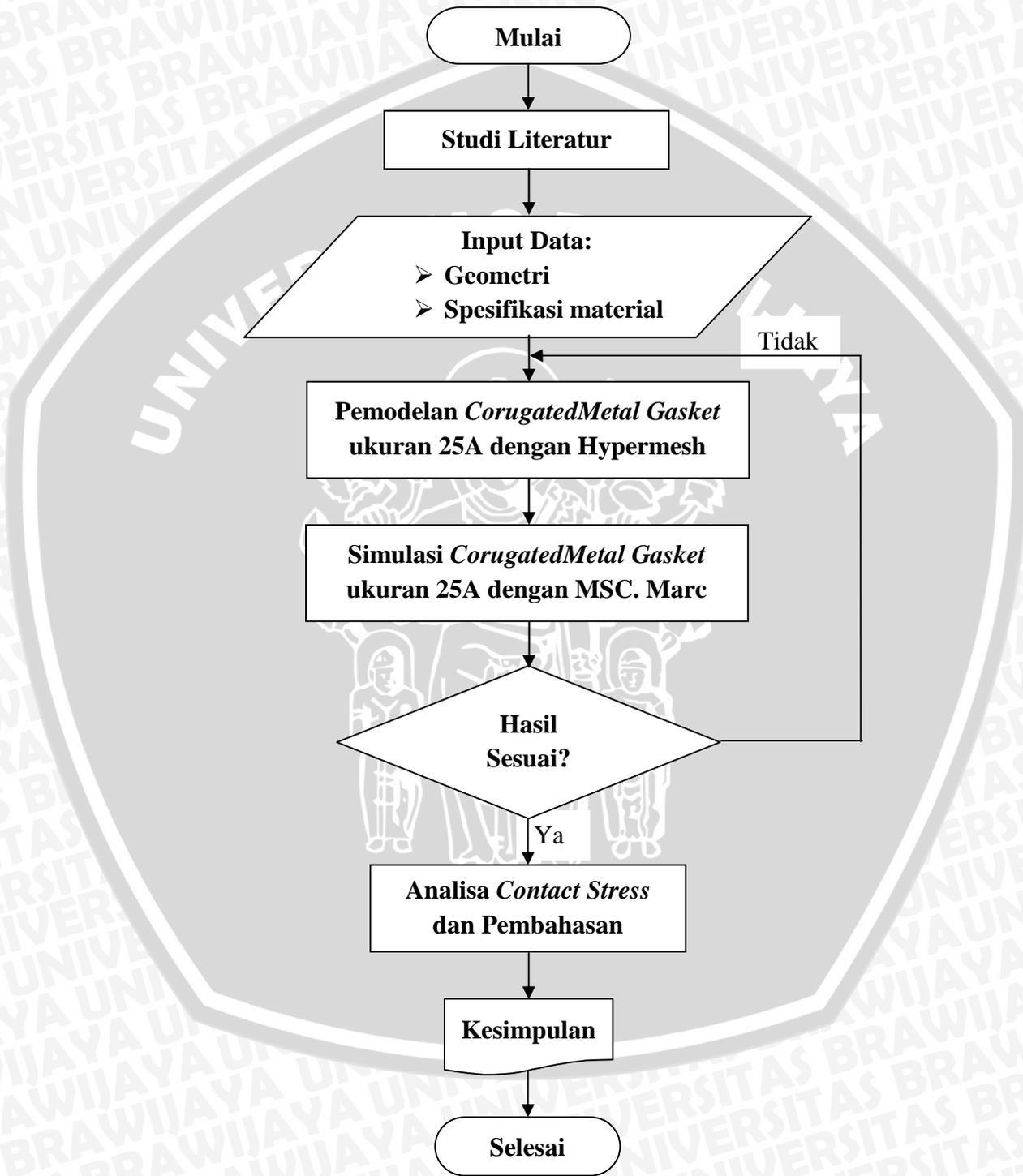
Pada tahap ini mendefinisikan jenis analisa yang akan digunakan dengan memasukkan kondisi batas dan menerapkan kontak antara *gasket* dan *flange*.

3.5.3 Postprocessing

Menganalisis hasil dari proses analisa yang telah dilakukan program melalui tabel maupun grafik

3.6 Diagram Alir Penelitian

Secara umum langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan mengikuti diagram alir seperti pada gambar 3.2 berikut ini:

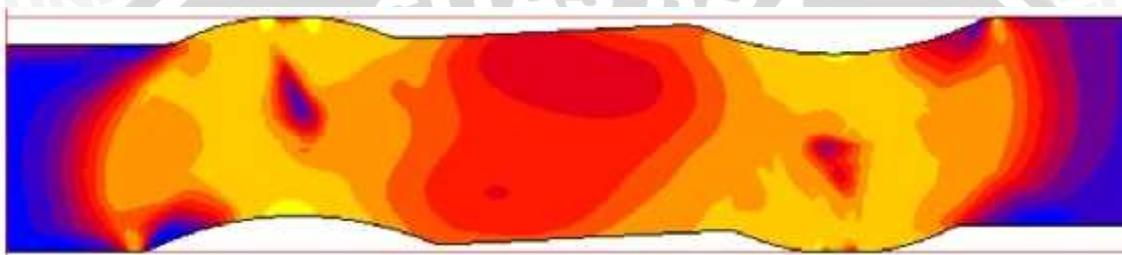


Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi

Dari *output software* MSC Marc didapatkan nilai-nilai *contact stress* dan *contact width* yang terjadi pada tiap-tiap *node*. Nilai *contact stress* diterapkan berdasarkan konsep kegagalan dengan menggunakan kriteria kegagalan energi distorsi maksimum (*von misses*). Pada software MSC Marc ini juga didapatkan simulasi proses *clamping load flange* pada *gasket* disertai pola distribusi *contact stress* dan deformasi yang terjadi pada *gasket* tersebut seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Distribusi tegangan pada simulasi proses *clamping load*

Adapun besarnya *contact width* yang terjadi pada pembebanan 100 kN tanpa mempertimbangkan distribusi *contact stress* yang terjadi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1. *Contact width* pada pembebanan 100 kN

No.	<i>Contact Width</i> [mm]		Rata-rata [mm]
	<i>Contact 1</i>	<i>Contact 2</i>	
1	0.41287995	0.3670044	0.389942175
2	0.61644167	0.71127885	0.66386026
3	0.62640955	0.5782242	0.602316875
4	0.43591689	0.33904647	0.38748168
5	0.60660553	0.65715599	0.63188076
6	0.54663466	0.54663466	0.54663466
7	0.45822144	0.42003632	0.43912888
8	0.75777058	0.80234532	0.78005795
9	0.31948662	0.36512756	0.34230709
10	0.78549385	0.73928833	0.76239109
11	0.5466423	0.5466423	0.5466423
12	0.4677391	0.4677391	0.4677391
13	0.49311447	0.54790497	0.52050972
14	0.68167554	0.68167554	0.68167554
15	0.36525536	0.41743469	0.391345025
16	0.36611936	0.36611936	0.36611936
17	0.3424778	0.3424778	0.3424778
18	0.60701752	0.60701752	0.60701752

Dikarenakan *contact width* dengan mempertimbangkan *contact stress* di atas tegangan yield material merupakan *contact width* yang dapat mencegah kebocoran pada gasket, sehingga dilakukan penghapusan *contact width* dengan nilai tegangan di bawah 400 MPa.

Tabel 4.2. *Contact width* pada pembebanan 100 kN dengan tegangan di atas 400 MPa

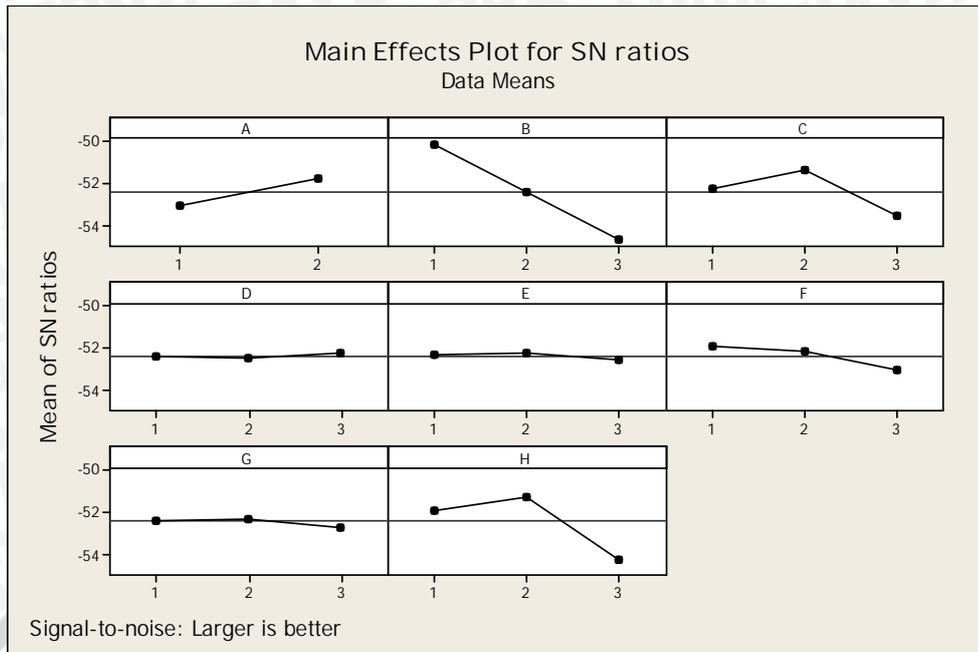
No.	<i>Contact Width</i> [mm]		Rata-rata[mm]
	<i>Contact 1</i>	<i>Contact 2</i>	
1	0.13762665	0.1835022	0.160564425
2	0.04741859	0.04741859	0.04741859
3	0.5782242	0.4818535	0.53003885
4	0.14530563	0.24217605	0.19374084
5	0.40440369	0.40440369	0.40440369
6	0.39755248	0.39755248	0.39755248
7	0.11455536	0.22911072	0.17183304
8	0.04457474	0.08914948	0.06686211
9	0.22820473	0.27384567	0.2510252
10	0.09241104	0.09241104	0.09241104
11	0.25229645	0.37844467	0.31537056
12	0.37419128	0.32741737	0.350804325
13	0.21916199	0.21916199	0.21916199
14	0.08019712	0.08019712	0.08019712
15	0.26089668	0.31307602	0.28698635
16	0.27458952	0.32035444	0.29747198
17	0.2935524	0.244627	0.2690897
18	0.20233917	0.20233917	0.20233917

Data dari tabel di atas, kemudian diubah ke dalam bentuk grafik hubungan antara *contact width* dan *clamping load* untuk selanjutnya mengetahui nilai *slope of curve* pada desain *gasket* seperti pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3. *Slope of Curve* pada L18 Test Matrix

<i>Trial</i>	<i>Factor Parameter</i>	<i>Slope of Curve (Y)</i>
1	A ₁ B ₁ C ₁ D ₁ E ₁ F ₁ G ₁ H ₁	0.00346
2	A ₁ B ₁ C ₂ D ₂ E ₂ F ₂ G ₂ H ₂	0.00405
3	A ₁ B ₁ C ₃ D ₃ E ₃ F ₃ G ₃ H ₃	0.00191
4	A ₁ B ₂ C ₁ D ₁ E ₂ F ₂ G ₃ H ₃	0.00189
5	A ₁ B ₂ C ₂ D ₂ E ₃ F ₃ G ₁ H ₁	0.00245
6	A ₁ B ₂ C ₃ D ₃ E ₁ F ₁ G ₂ H ₂	0.00249
7	A ₁ B ₃ C ₁ D ₂ E ₁ F ₃ G ₂ H ₃	0.00125
8	A ₁ B ₃ C ₂ D ₃ E ₂ F ₁ G ₃ H ₁	0.00206
9	A ₁ B ₃ C ₃ D ₁ E ₃ F ₂ G ₁ H ₂	0.00165
10	A ₂ B ₁ C ₁ D ₃ E ₃ F ₂ G ₂ H ₁	0.00358
11	A ₂ B ₁ C ₂ D ₁ E ₁ F ₃ G ₃ H ₂	0.00372
12	A ₂ B ₁ C ₃ D ₂ E ₂ F ₁ G ₁ H ₃	0.00242
13	A ₂ B ₂ C ₁ D ₂ E ₃ F ₁ G ₃ H ₂	0.00294
14	A ₂ B ₂ C ₂ D ₃ E ₁ F ₂ G ₁ H ₃	0.00247
15	A ₂ B ₂ C ₃ D ₁ E ₂ F ₃ G ₂ H ₁	0.00229
16	A ₂ B ₃ C ₁ D ₃ E ₂ F ₃ G ₁ H ₂	0.00242
17	A ₂ B ₃ C ₂ D ₁ E ₃ F ₁ G ₂ H ₃	0.00201
18	A ₂ B ₃ C ₃ D ₂ E ₁ F ₂ G ₃ H ₁	0.00196

Berdasarkan data dari tabel 4.3, dilakukan analisis parameter yang mempengaruhi besarnya nilai *slope of curve* yang dihasilkan dengan menggunakan metode Taguchi DOE (*Design of Experiment*), sehingga didapatkan data seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2. Dengan metode Taguchi DOE dapat diketahui parameter desain dengan ukurannya yang mempengaruhi besarnya nilai *slope of curve*. Titik dengan nilai tertinggi pada tiap-tiap parameter menjadi pedoman untuk membuat desain baru yang merupakan desain gasket yang optimum untuk menghasilkan nilai *slope of curve* yang tinggi. Kemudian dilakukan perbandingan antara desain gasket yang optimal dengan desain gasket dari penelitian sebelumnya.



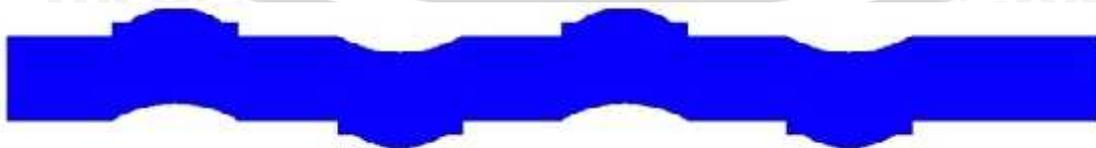
Gambar 4.2 Analisis Taguchi DOE

Tabel 4.4. Dimensi pada *gasket* optimal desain dan *gasket* penelitian sebelumnya

FactorDescription	Design[mm]	
	Optimal Desain	Penelitian Sebelumnya
<i>Pitch (P)</i>	4	4
<i>Configuration (C)</i>	1x1	-
<i>Thickness (t)</i>	1,5	1,5
<i>Inner Radius (R)</i>	1,75	1,5
<i>Outer Radius (R')</i>	2,25	2,25
<i>Top Lip height (h)</i>	0,20	0,25
<i>Bottom Lip Height (h')</i>	0,20	-



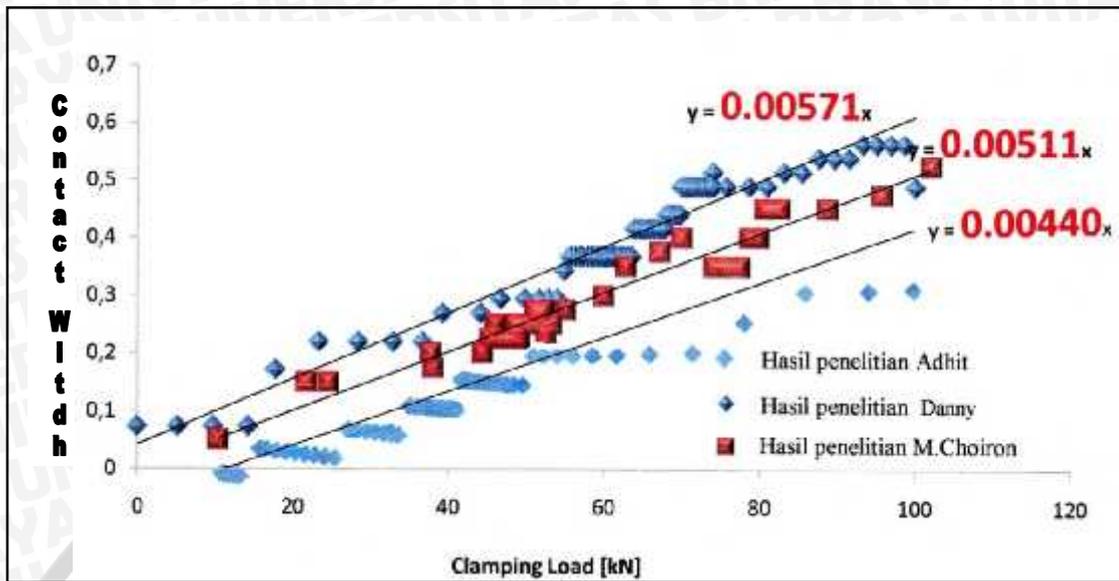
(a) *Gasket* redesign



(b) *Gasket* penelitian sebelumnya

Gambar 4.3. Perbandingan (a) *gasket* redesign dan (b) *gasket* penelitian sebelumnya

4.2 Pembahasan

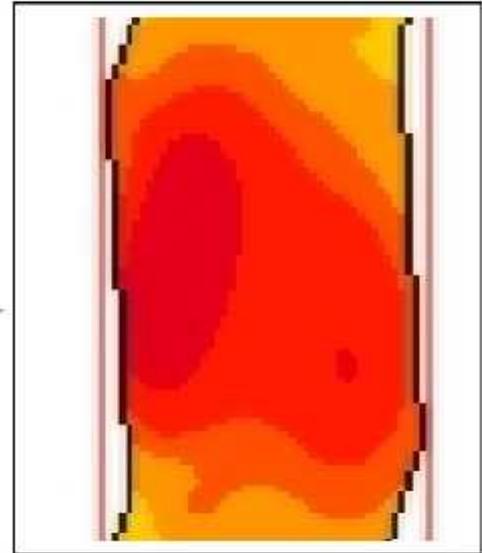
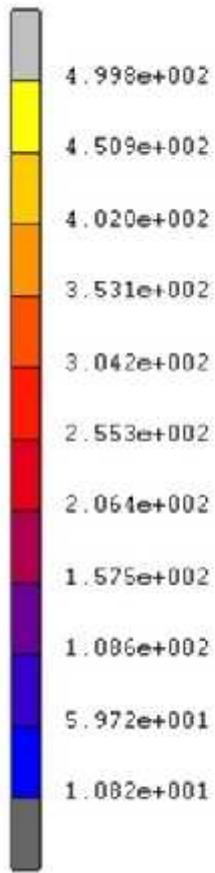


Gambar 4.4 Grafik hubungan antara *contact width* dan *clamping load*

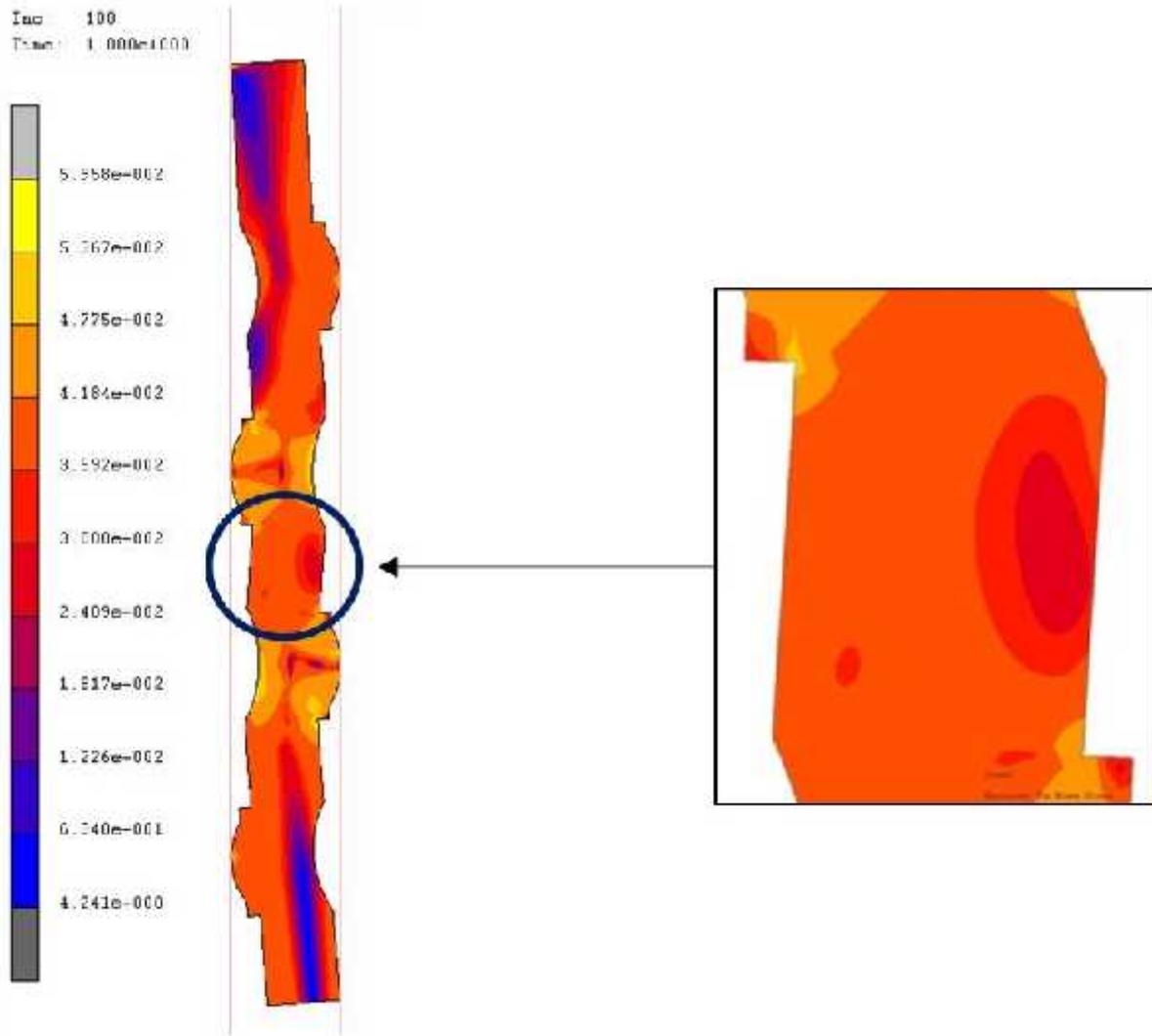
Pada grafik ditunjukkan bahwa nilai *slope of curve* (Y) pada redesain lebih kecil daripada desain *gasket* penelitian sebelumnya, sehingga *contact width* yang dihasilkan pada *gasket* redesain lebih kecil daripada *gasket* penelitian sebelumnya pada pembebanan *clamping load* yang sama. Hal ini disebabkan karena *spring effect* pada *gasket* optimal desain lebih kecil daripada *spring effect* pada *gasket* redesain.

Spring effect dalam hal ini merupakan prosentase perbandingan antara daerah elastis dengan luasan daerah antar gelombang setelah proses *clamping load* selesai dilakukan (pembebanan 100 kN). Distribusi tegangan pada daerah antar gelombang pada *gasket* optimal desain dan *gasket* penelitian sebelumnya dapat dilihat pada gambar 4.5 dan gambar 4.6 berikut ini.

Inc: 100
Time: 1.000e+000



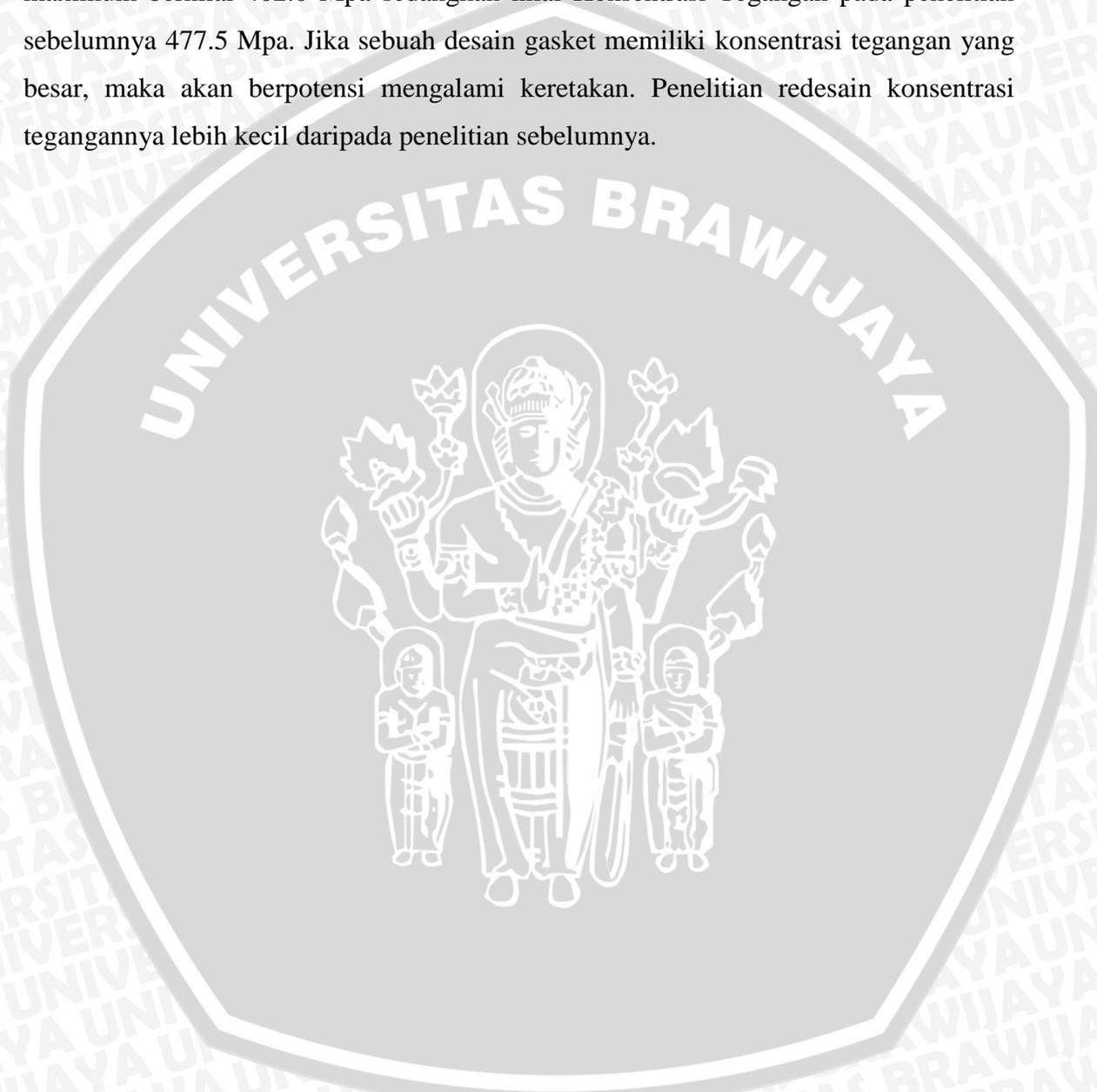
Gambar 4.5 Distribusi tegangan pada *gasket* redesign



Gambar 4.6 Distribusi tegangan pada *gasket* penelitian sebelumnya

Pada gambar 4.5 dan gambar 4.6 menunjukkan distribusi tegangan yang terjadi pada daerah antar gelombang setelah *clamping load* sebesar 100 kN. Pada gambar juga terlihat kontur warna berbeda yang menunjukkan besar tegangan yang terjadi pada daerah ini. *Spring effect* dihasilkan oleh daerah yang masih mengalami deformasi elastis dengan tegangan di bawah tegangan yield material SUS304 yaitu 398,83 MPa. Sehingga dapat diketahui prosentase daerah elastis pada daerah antar gelombang setelah *clamping load* sebesar 100 kN. Besarnya prosentase daerah elastis pada *gasket* redesain dan *gasket* penelitian sebelumnya masing-masing adalah 92.176% dan 96.188%, maka *spring effect* yang dihasilkan oleh *gasket* redesain lebih kecil daripada *gasket* penelitian sebelumnya.

Penelitian redesain dilakukan untuk mendapatkan konsentrasi tegangan yang lebih kecil dari penelitian sebelumnya. Pada penelitian sebelumnya, desain memiliki nilai slope yang besar, tetapi juga memiliki konsentrasi tegangan yang besar. Penelitian sebelumnya, nilai slope of curve adalah 0.00571, sedangkan pada penelitian redesain ini nilai slope of curve nya adalah 0.00440. Nilai Konsentrasi Tegangan pada redesain maximum bernilai 402.0 Mpa sedangkan nilai Konsentrasi Tegangan pada penelitian sebelumnya 477.5 Mpa. Jika sebuah desain gasket memiliki konsentrasi tegangan yang besar, maka akan berpotensi mengalami keretakan. Penelitian redesain konsentrasi tegangannya lebih kecil daripada penelitian sebelumnya.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan bahwa parameter desain pada *new corrugated metal gasket* ukuran 25A yang menghasilkan *spring effect* dan *contact width* paling tinggi adalah $C = 1x1$, $P = 4 \text{ mm}$, $t = 1.5 \text{ mm}$, $R = 1.75 \text{ mm}$, $R' = 2.25 \text{ mm}$, $h = 0.20 \text{ mm}$, $h' = 0.20 \text{ mm}$.

Besarnya prosentase daerah elastis *gasket* redesain dan *gasket* penelitian sebelumnya masing-masing adalah 92.176% dan 96.188%, maka *spring effect* yang dihasilkan oleh *gasket* redesain lebih kecil daripada *gasket* penelitian sebelumnya.

Nilai slope of curve pada penelitian sebelumnya adalah 0.00571, sedangkan pada penelitian redesain ini nilai slope of curve nya adalah 0.00440. Nilai Konsentrasi Tegangan pada redesain maximum bernilai 402.0 Mpa sedangkan nilai Konsentrasi Tegangan pada penelitian sebelumnya 477.5 Mpa.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan penelitian selanjutnya perlu dilakukan:

1. Menguji secara nyata performa *new corrugated metal gasket* ukuran 25A pada saat proses *clamping load*.
2. Diperlukan ketelitian dalam penentuan level (*leveling*) pada desain *gasket*.
3. Pastikan semua parameter yang digunakan sudah benar benar tepat sebelum melakukan *running*, karena sekali salah melakukan *running*, akan mengulang smuanya dari awal lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous, <http://www.sixsigmaindonesia.com/design-of-experiment-doe/>, diakses tanggal 24 September 2012
- Bathe, Klaus-Jurgen. 1996. *Finite Element Procedures*. New Jersey: Prentice Hall
- Choiron, Moch. Agus, Haruyama, Shigeyuki. and Kaminishi, Ken. 2011. *Optimization Of New Metal Gasket Shape By Using Simulation Experiment*. International Journal of Academic Research, Vol. 3 No. 3
- Choiron, Moch. Agus, Haruyama, Shigeyuki. And Kaminishi, Ken. 2011. *Optimum Design of New 25A-size Metal Gasket Considering Plastic Contact Stress*. International Journal of Modeling and Optimization, Vol. 1 No. 2
- Dieter, George E. 1988. *Mechanical Metallurgy*. London : McGraw-Hill Book Company
- Eary, Donal F. And Reed, E.A. 1974. *Techniques of Pressworking Sheet Metal*. An Engineering Approach to Die Design, 2nd ed.
- Gere, James N. & Timshenko, Stephen P. 1987. *Mekanika Bahan*. Alih bahasa oleh Hans J. Wospakrik. Jakarta: Erlangga.
- Iremonger, MJ. 1990. *Dasar Analisis Tegangan*. Alih bahasa oleh Sardi S. Jakarta: UI-Press.
- Modul ANSYS. 2009. Malang: Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Nao-Aki Noda, Masato Nagawa, Fumitaka Shiraiishi and Akifumi Inoue. 2002. *Sealing Performance of New Gasketless Flange*. Journal of Pressure Vessel Technology, vol. 124 pp. 239-246
- Robert, D Cook. 1990. *Metode Elemen Hingga*. Alih bahasa oleh Bambang Surya A. Bandung: PT. Eresco
- Shigley, Joseph.E. 1986. *Perencanaan Teknik Mesin Edisi Keempat*. Jakarta :Erlangga
- Soejanto, I., 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Timoshenko, SP. & Goodier, JN. 1986. *Teori Elastisitas*. Alih bahasa oleh Darwin Sebayang. Jakarta: Erlangga.
- Zahavi, Eliahu. 1992. *The Finite Element Method in Machine Design*. USA: A Solomon Press Book.
- Zemansky, Mark W. & Weston Sears, Francis. 1982. *Fisika Untuk Universitas I*. Bandung: Binacipta

Lampiran 1. *Contact width* pada *gasket* optimal desain pada pembebanan 100 kN dengan tegangan diatas 400 MPa

Contact Width [mm]			Load [kN]
Convex Contact 1	Convex Contact 2	Rata-rata	
0.0489254	0.0978508	0.0733881	2.6616
0.0489254	0.0978508	0.0733881	5.21008
0.0489254	0.0978508	0.0733881	9.81959
0.0489254	0.0978508	0.0733881	14.2699
0.0489254	0.293552399	0.171238899	17.7849
0.146776199	0.293552399	0.220164299	23.3518
0.146776199	0.293552399	0.220164299	28.406
0.146776199	0.293552399	0.220164299	32.8885
0.146776199	0.293552399	0.220164299	36.7071
0.146776199	0.391403198	0.269089699	39.2598
0.146776199	0.391403198	0.269089699	44.1524
0.195701599	0.391403198	0.293552399	46.7004
0.195701599	0.391403198	0.293552399	49.8452
0.195701599	0.391403198	0.293552399	51.6504
0.244626999	0.489253998	0.366940498	55.6389
0.244626999	0.489253998	0.366940498	60.2339
0.244626999	0.587104797	0.415865898	65.0111
0.293552399	0.684955597	0.489253998	70.1405
0.293552399	0.684955597	0.489253998	75.689
0.293552399	0.684955597	0.489253998	80.9698
0.342477798	0.684955597	0.513716698	85.4596
0.391403198	0.684955597	0.538179398	87.6126
0.391403198	0.684955597	0.538179398	89.583
0.391403198	0.684955597	0.538179398	91.5017
0.440328598	0.684955597	0.562642097	93.2665
0.440328598	0.684955597	0.562642097	95.0437
0.440328598	0.684955597	0.562642097	96.8474
0.440328598	0.684955597	0.562642097	98.6193
0.293552399	0.684955597	0.489253998	100.034

Lampiran 2. *Contact width* pada *gasket* penelitian sebelumnya pada pembebanan 100 kN dengan tegangan diatas 400 MPa

Contact Width [mm]			Load [kN]
Convex Contact 1	Convex Contact 2	Rata-rata	
0.05	0.05	0.05	10.4491
0.15	0.15	0.15	21.7503
0.15	0.15	0.15	24.6061
0.15	0.2	0.175	38.1375
0.2	0.2	0.2	37.742
0.2	0.25	0.225	45.4192
0.25	0.25	0.25	49.0649
0.25	0.25	0.25	50.4304
0.3	0.25	0.275	55.0326
0.35	0.25	0.3	60.0164
0.45	0.25	0.35	62.8637
0.5	0.25	0.375	67.245
0.5	0.3	0.4	69.9773
0.45	0.25	0.35	74.1575
0.45	0.25	0.35	75.5931
0.45	0.25	0.35	77.4808
0.55	0.25	0.4	78.7686
0.55	0.25	0.4	79.8679
0.6	0.3	0.45	80.6935
0.6	0.3	0.45	81.0643
0.6	0.3	0.45	82.6246
0.55	0.35	0.45	88.788
0.55	0.4	0.475	95.7594
0.6	0.45	0.525	102.129