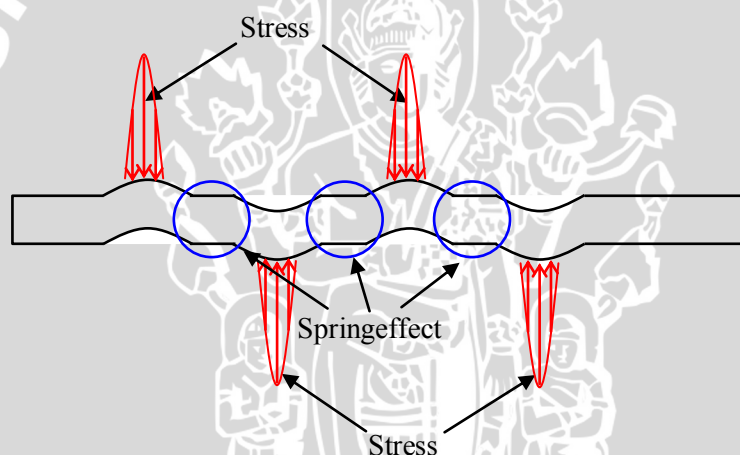


BAB II

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: Choiron, Moch Agus: 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 :

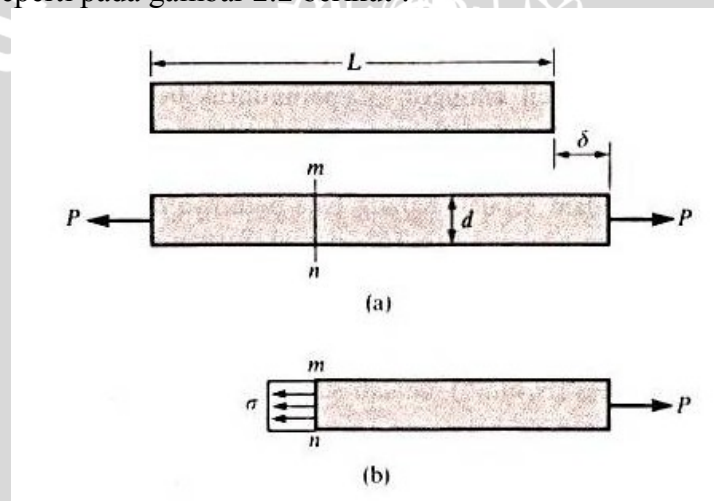
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2-1)$$

Dimana: σ = besarnya tegangan (Pascal)

P = besarnya gaya yang bekerja (N)

A = luas penampang (m^2)

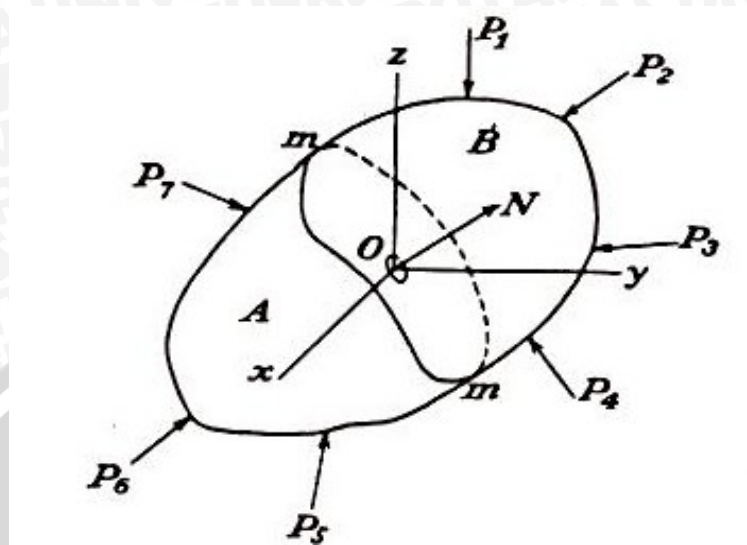
Pada kasus sederhana, dapat ditunjukkan oleh sebuah batang yang panjangnya L , kemudian diberikan gaya aksial pada batang tersebut sehingga terjadi pertambahan panjang (δ) seperti pada gambar 2.2 berikut :



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

Untuk menyelidiki tegangan internal 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 σ dikalikan luas penampang. Resultan gaya P besarnya sama dengan aksi dari batang tersebut tetapi arahnya berlawanan.

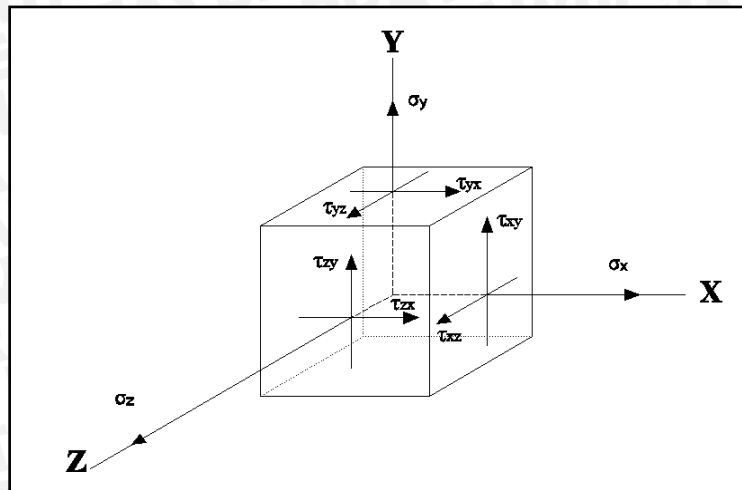
Pada kasus umum tegangan tidak terbagi merata di sepanjang potongan penampang. Hal ini bisa dilihat pada gambar 2.3 berikut :



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 δA , 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 δP . Apabila terus ditekan luas elemen δA , harga batas ratio $\delta P/\delta A$ 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

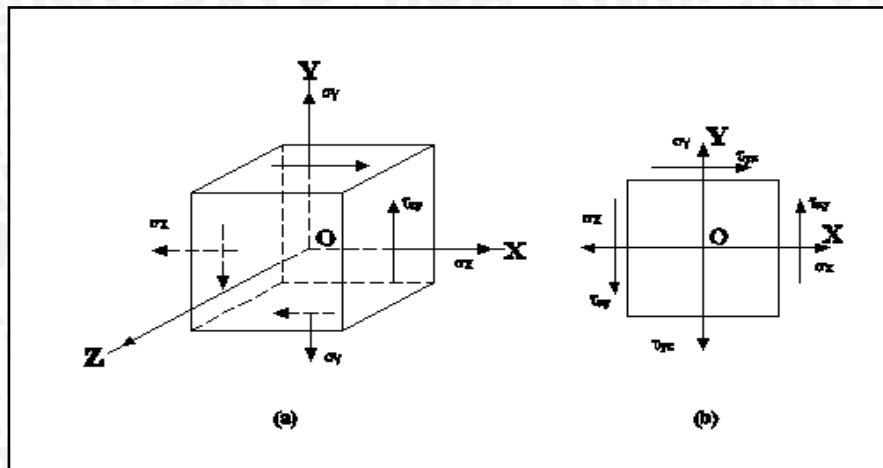
Penulisan tegangan pada suatu titik dapat dilakukan dengan penulisan tensorial dengan matrik sebagai berikut :

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

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 $\sigma_z = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$ 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 karena gaya tarik dapat ditulis dalam persamaan berikut :

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \tag{2-3}$$

Keterangan : ε adalah besarnya regangan

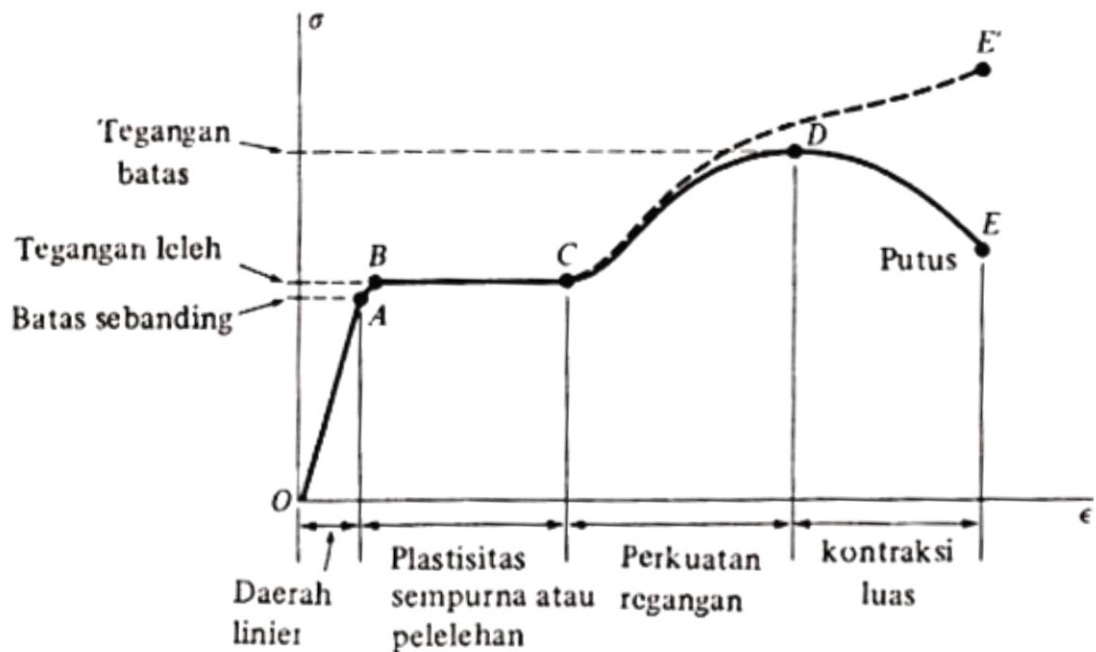
δ adalah besarnya pertambahan panjang (m)

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. Di bawah ini adalah modulus elastis dari berbagai bahan.

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.

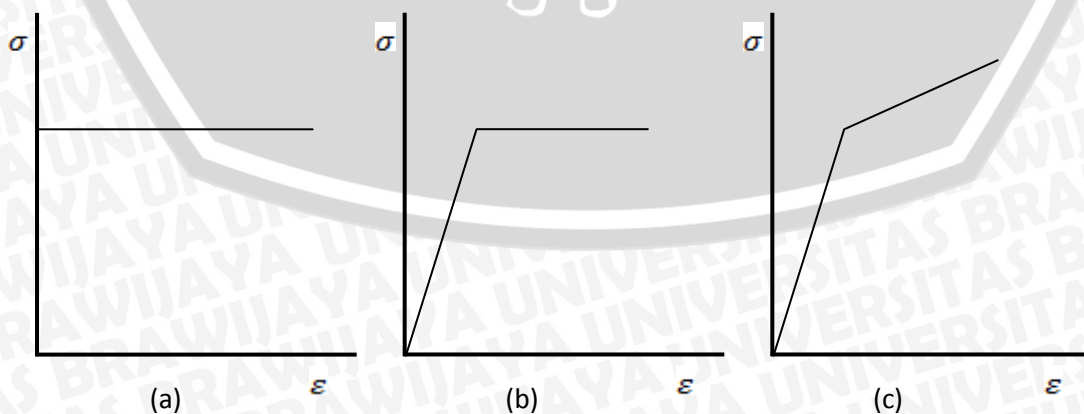
Titik D adalah *ultimate point*, yaitu titik yang menunjukkan tegangan suatu bahan mencapai tegangan tertingginya. Jika tegangan terus ditambah maka bahan akan putus sampai titik patahnya (titik E). Garis putus-putus merupakan diagram tegangan regangan sejati yang menggunakan luas sebenarnya.

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*

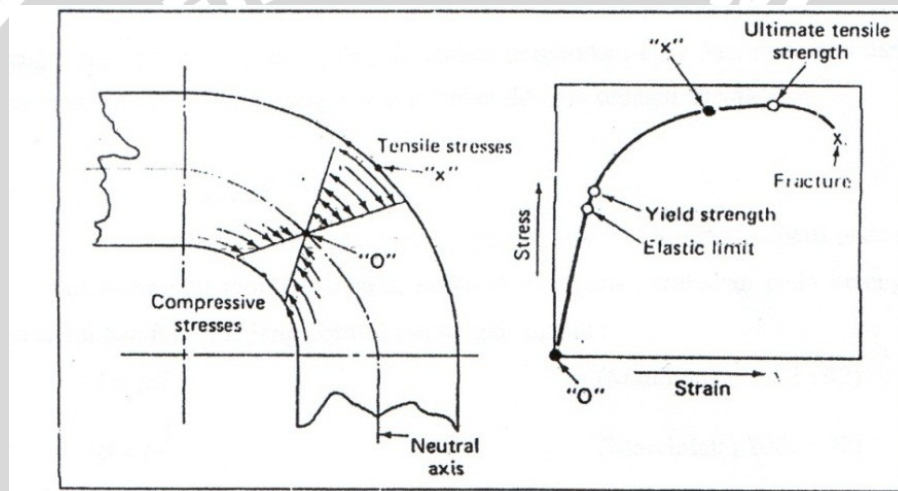
Dalam analisa untuk mendapatkan penyelesaian masalah deformasi, maka perlu untuk mengidealisasikan hubungan tegangan-regangan yang terjadi. Pada umumnya ada tiga permodelan pengidealisasiian dari sudut pandang terjadinya deformasi pada material, yang pertama adalah *rigid perfectly plastic*, pada pemodelan 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:



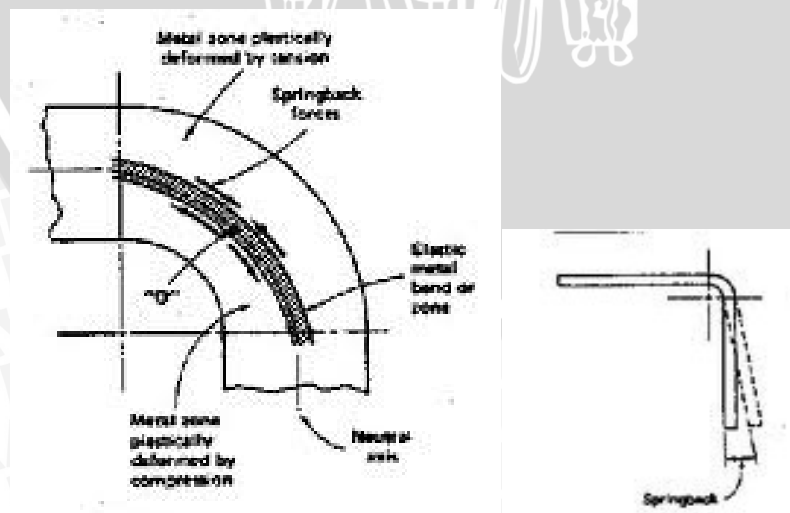
Gambar 2.7 Permodelan material pada diagram tegangan-regangan
 Sumber : Dieter; 1988 : 72

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

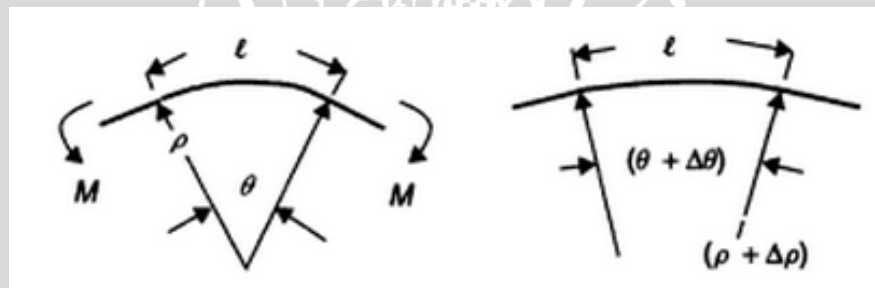
Jika sebuah pelat dibentuk dengan momen seperti pada gambar 2.9 kemudian momen tersebut dilepas, maka akan terjadi perubahan pada kelengkungan dan sudut *bending*. Panjang permukaan tengah adalah:

$$l = \rho\theta \quad (2-5)$$

$$\theta = \frac{l}{\rho} \quad (2-6)$$

Dengan mendefinisikan persamaan di atas dimana $1 =$ konstanta yang didapatkan

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

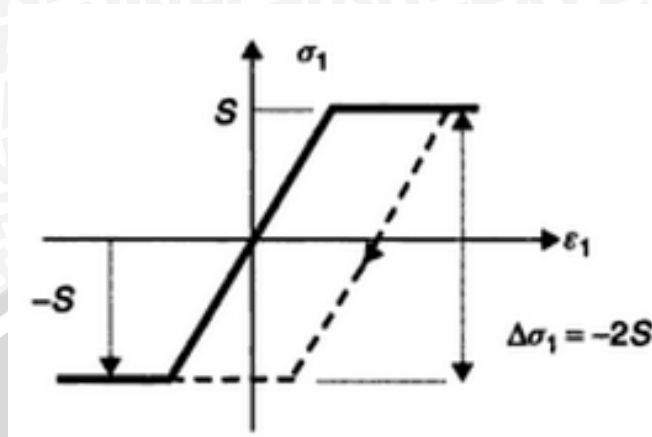


Gambar 2.10 Kondisi *unloading* dari pelat yang dibengkokkan dengan momen tanpa disertai *tension*

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 $\Delta\sigma_1 = -2\sigma_s$ dapat terjadi tanpa material menjadi plastis. Jika diasumsikan bahwa kondisi *unloading* dari pelat sebagai proses elastis, persamaan *bending* elastis dapat ditulis dalam bentuk:

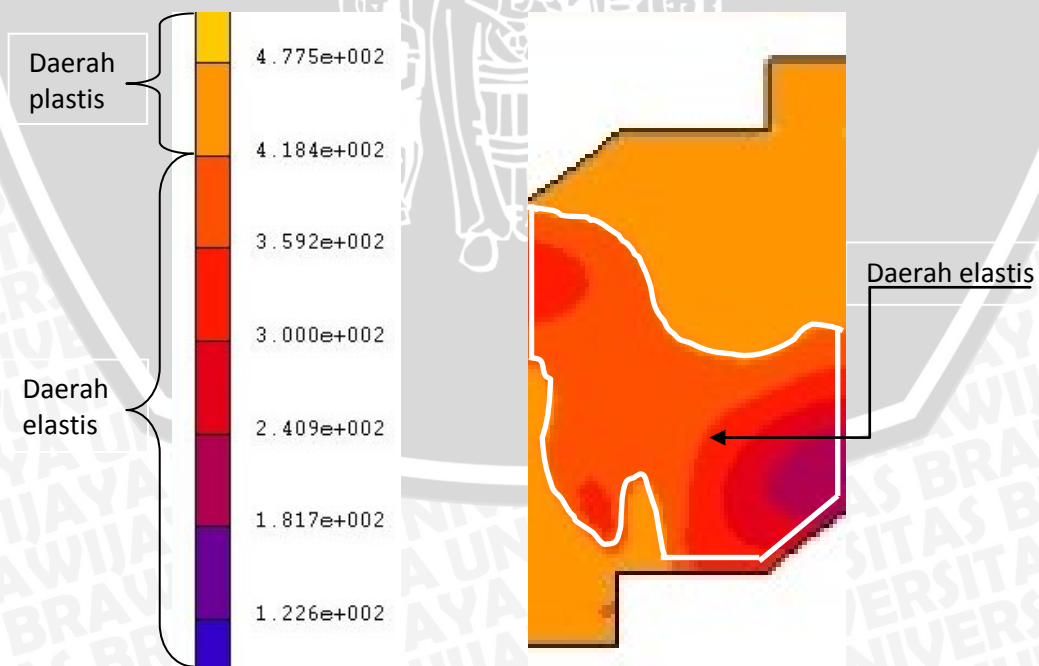
$$\frac{\Delta M}{I} = \frac{\Delta \sigma_1}{y} = \frac{\Delta \sigma_1 \max}{t/2} = E' \Delta \left(\frac{1}{\rho} \right) \quad (2-8)$$



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.

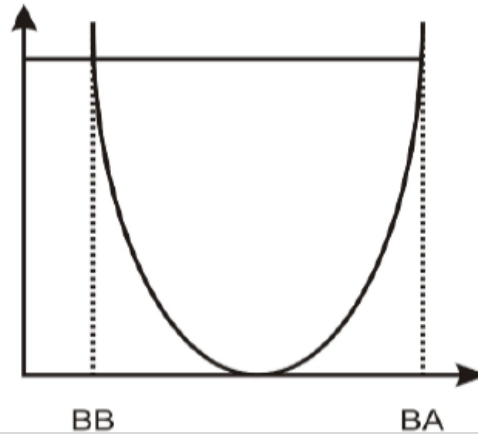
Keuntungan *orthogonal array* adalah kemampuan untuk mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah percobaan yang sedikit. Jika pada percobaan terhadap 4 faktor dengan 3 taraf, menggunakan percobaan faktorial penuh akan diperlukan 3^4 percobaan. Dengan *orthogonal array* akan dapat dikurangi percobaan yang 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

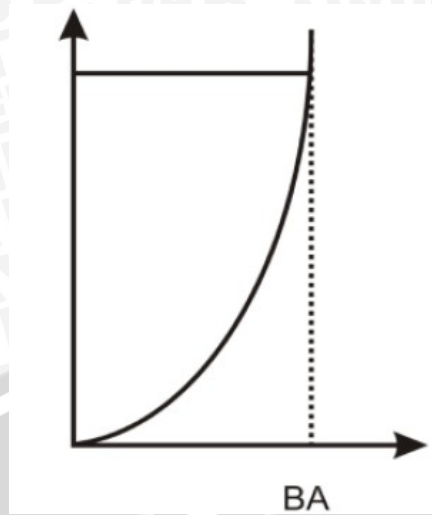
y = nilai pada setiap *run*

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.



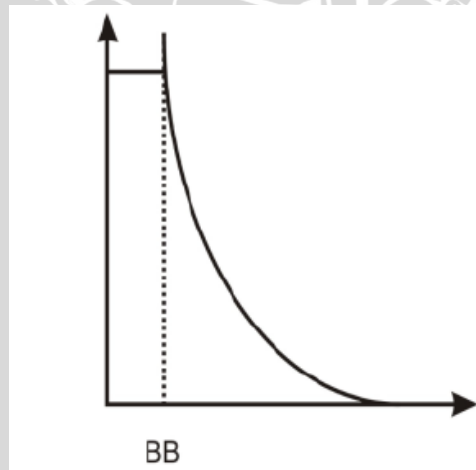
Gambar 2.14 *Lower is better*
 Sumber : Soejanto, 2009 : 63

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.



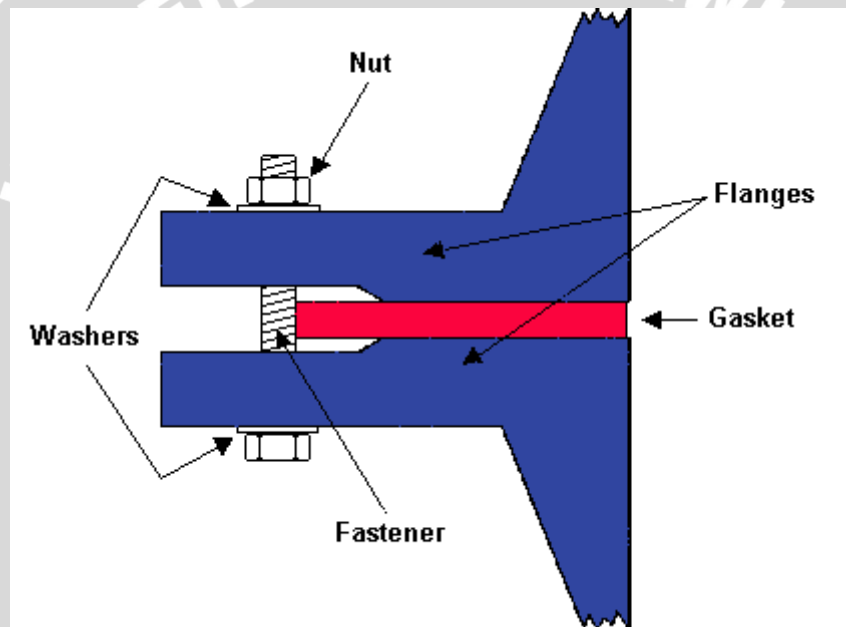
Gambar 2.15 *Higher is better*
 Sumber : Soejanto, 2009 : 63

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*

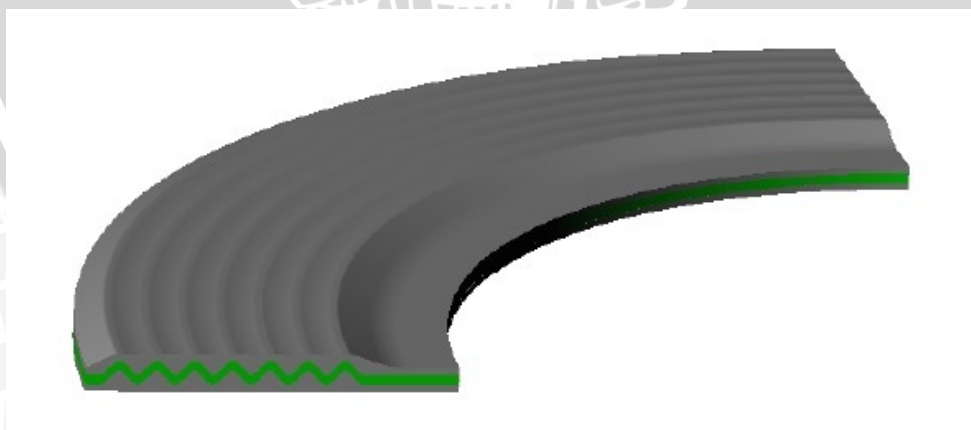
3. *Non-metallic*

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*

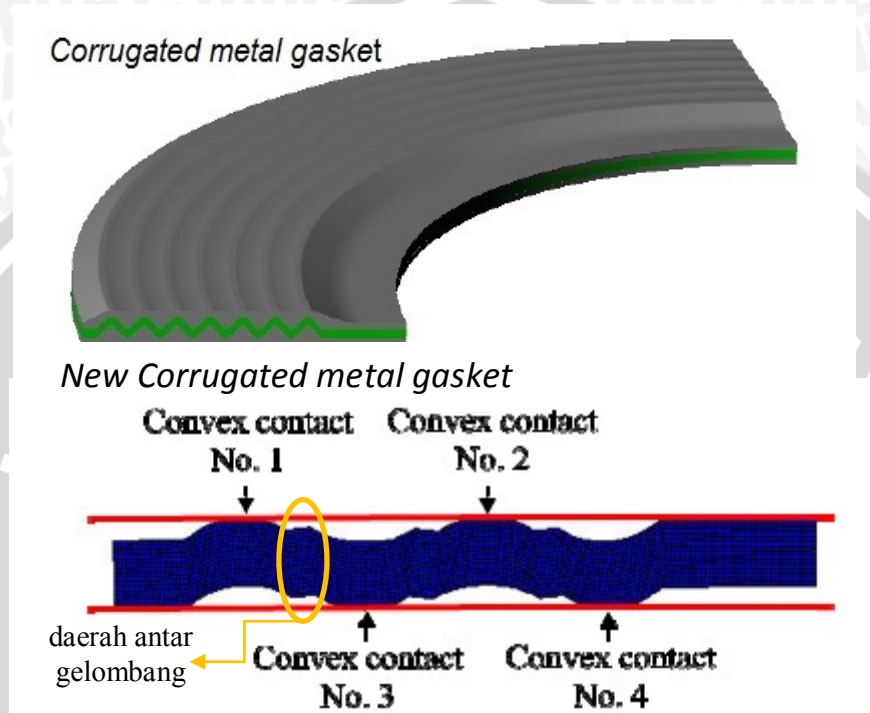
Sumber: Trianglefluid.com

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.



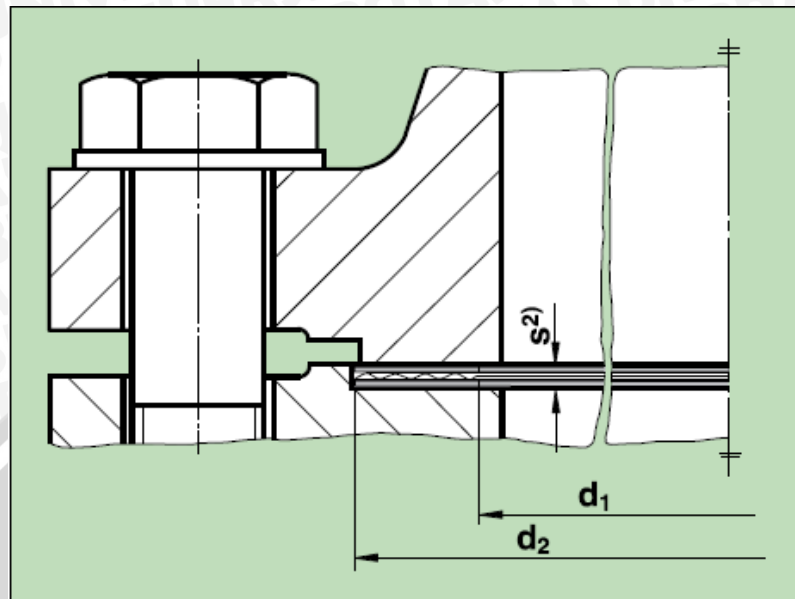
Gambar 2.18 Perbedaan *new corrugated metal gasket* dengan *corrugated metal gasket*
Sumber: Trianglefluid.com dan Choiron, Moch Agus: 2011: 2

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			PN										
			10	16	25	40	64	100	160	250	320	400	
DN	d_1	d_2	d_3										
10	18	34	46	46	46	46	56	56	56	67	67	67	
15	22	39	51	51	51	51	61	61	61	72	72	78	
20	28	50	60	60	60	60	-	-	-	-	-	-	
25	35	57	70	70	70	70	82	82	82	83	92	104	
32	43	65	82	82	82	82	-	-	-	-	-	-	
40	49	75	92	92	92	92	103	103	103	109	119	135	
50	61	87	107	107	107	107	113	119	119	124	134	150	
65	77	109	127	127	127	127	137	143	143	153	170	192	
80	90	120	142	142	142	142	148	154	154	170	190	207	
100	115	149	162	162	168	168	174	180	180	202	229	256	
125	114	175	192	192	194	194	210	217	217	242	274	301	
150	169	203	218	218	224	224	247	257	257	284	311	348	
175	195	233	247	247	254	265	277	287	284	316	358	402	
200	220	259	272	272	284	290	309	324	324	358	398	442	
250	274	312	327	328	340	352	364	391	388	442	488	-	
300	325	363	377	383	400	417	424	458	458	536	-	-	
350	368	421	437	443	457	474	486	512	-	-	-	-	
400	420	473	489	495	514	546	543	572	-	-	-	-	
450	470	524	539	555	-	571	-	-	-	-	-	-	
500	520	575	594	617	624	628	657	704	-	-	-	-	
600	620	675	695	734	731	747	764	813	-	-	-	-	
700	720	777	810	804	833	852	879	950	-	-	-	-	
800	820	882	917	911	942	974	988	-	-	-	-	-	
900	920	987	1017	1011	1042	1084	1108	-	-	-	-	-	
1000	1020	1091	1124	1128	1154	1194	1220	-	-	-	-	-	
1200	1240	1320	1341	1342	1364	1398	1452	-	-	-	-	-	
1400	1440	1520	1528	1542	1578	1618	-	-	-	-	-	-	
1600	1640	1740	1772	1764	1798	1830	-	-	-	-	-	-	
1800	1840	1940	1972	1964	2000	-	-	-	-	-	-	-	
2000	2040	2140	2182	2168	2230	-	-	-	-	-	-	-	
2200	2240	2340	3284	2378	-	-	-	-	-	-	-	-	
2400	2440	2540	2594	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2600	2650	2750	2794	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2800	2870	2970	3014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3000	3080	3180	3228	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

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

2.7 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 dikernbangkan lagi menurut kebutuhan, antara lain jenis struktur dan ketelitian yang diinginkan.

2.7.1 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.

2.7.2 Elemen Dua Dimensi

Menurut bidang pernbهانannya, maka elemen dua dimensi dibagi menjadi:

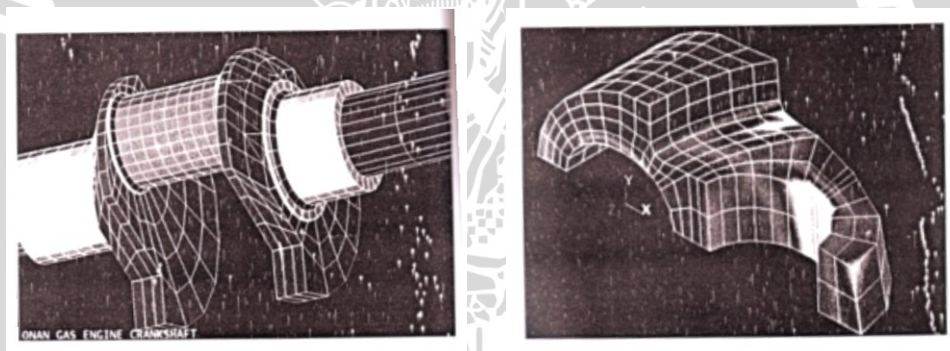
- a) Elemen bidang, bila beban terletak pada bidang elemen (*in-place loading*), sehingga peralihan terjadi pada bidangnya.
- b) Elemen Pelat, bila beban tegak lurus bidang elemen (*face loading*), sehingga peralihan yang terjadi akan keluar bidang elemen.

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.

2.7.3 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.

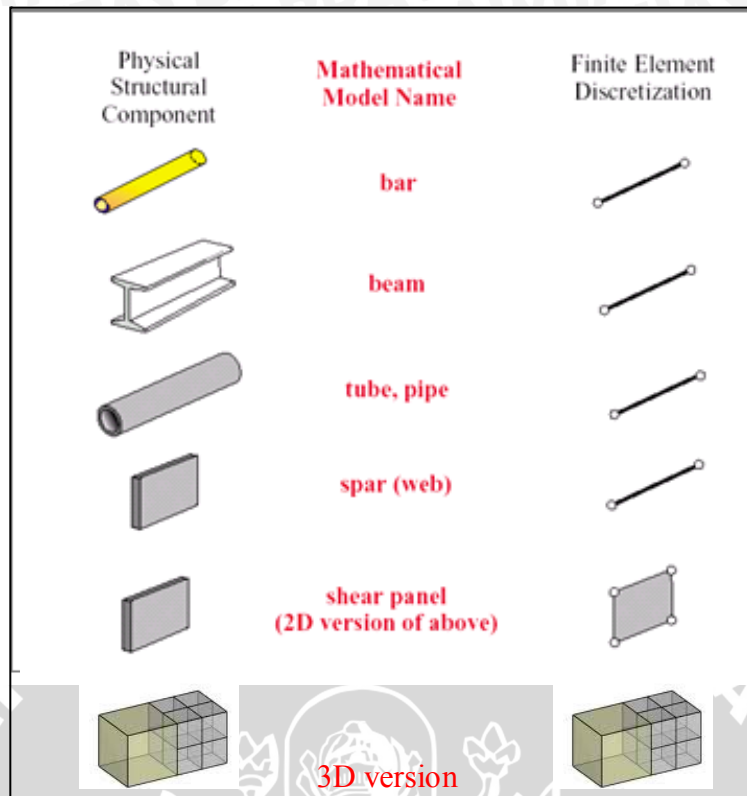


(a)

(b)

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:

$$K = \int_v [B^T] [E][B] dV \quad (2-9)$$

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 :

$$B_i = \begin{bmatrix} f_{i,x} & 0 \\ 0 & f_{i,y} \\ f_{i,x} & 0 \end{bmatrix}$$

4. Menghitung matrik beban total

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

$$R = Q_{NF} + Q_{BF} + Q_T \quad (2-10)$$

Dimana: Q_{NF} : beban pada konsentrasi nodal

Q_{BF} : beban *body force* (akibat beban sendiri)

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:

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

Dimana: $[Kg]$: 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 :

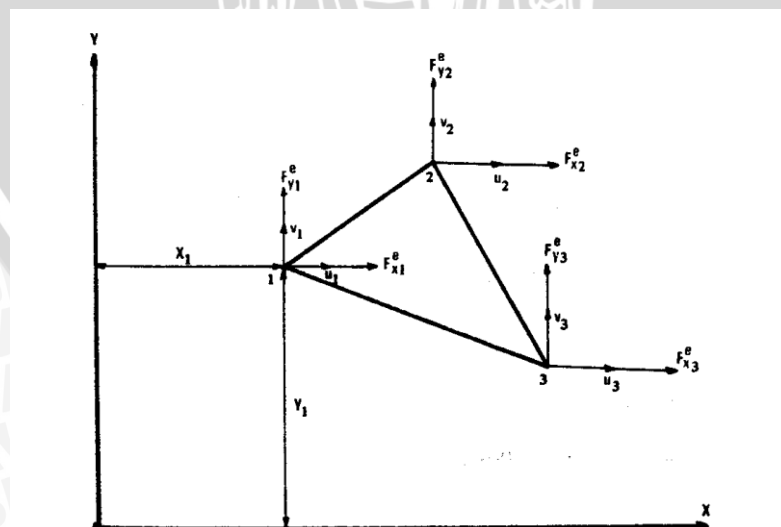
$$\{\sigma\} = [E] [B] \{d\} \quad (2-16)$$

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 :

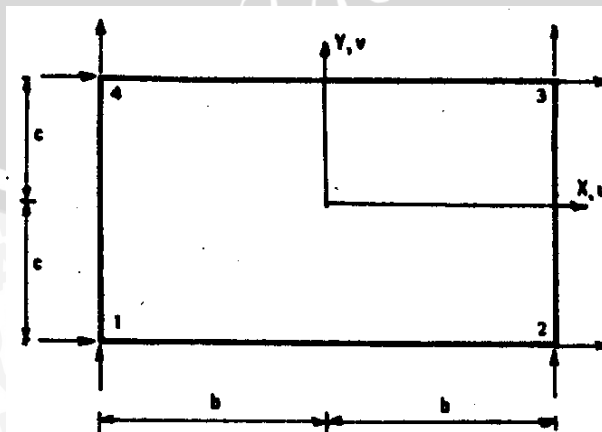
$$e_1 = 1 - \nu \quad e_2 = 1 - 2\nu \quad e_3 = \frac{e_2}{2}$$

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

$$K = \int_v [B^T][E][B]dV = K = [B^T][E][B]A_{ijk} = K_1 + K_2$$

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 :

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

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

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

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

$$K = \int_v [B_c^T] [E] [B_c] dV$$

2.8 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 method*) dapat digunakan untuk menganalisis struktural, analisis termal, analisis elektrik, analisis magnetis, dan analisis fluida. Secara umum langkah-langkah analisisnya dibagi menjadi tiga yaitu:

2.8.1 Preprocessing

Pada proses ini dilakukan permodelan dari benda kerja antara lain:

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

2.8.2 Solution

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

2.8.3 Postprocessing

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

2.9 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.

