EVALUASI PROSEDUR PENGETATAN FLANGE PADA METAL GASKET TYPE 80A

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK KONSTRUKSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

SUCIANTO NIM. 0810620091-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS TEKNIK MALANG 2013

LEMBAR PERSETUJUAN

EVALUASI PROSEDUR PENGETATAN FLANGE PADA METAL GASKET TYPE 80A

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK KONSTRUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

SUCIANTO NIM. 0810620091-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

<u>Dr.Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.</u> NIP. 19720817 200002 1 001 <u>Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng.</u> NIP. 19710310 199802 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI PROSEDUR PENGETATAN FLANGE PADA METAL GASKET TYPE 80A

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK KONSTRUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

SUCIANTO NIM. 0810620091 – 62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada tanggal 29 Januari 2013

MAJELIS PENGUJI

Skripsi I

Skripsi II

<u>Ir. Hastono Wijaya, MT.</u> NIP. 19601204 198601 1 002 <u>Dr.Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng.</u> NIP. 19750710 199903 1 004

Komprehensif

<u>Ir. Suharto, ST.</u> NIP. 19531030 198212 1 001

Mengetahui, Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah senantiasa melimpahkan rahmat, berkah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul "Evaluasi Prosedur Pengetatan Flange pada Metal Gasket Type 80A" 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 :

- 1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST.,MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
- 2. Bapak Dr.Eng. Moch. Agus Choiron, ST.,MT., dan Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST.,M.Eng., selaku Dosen pembimbing yang telah banyak bersabar dan bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan ide-ide, bimbingan, arahan, dan masukan dalam penyusunan Skripsi ini,
- 3. Kedua orang tua tercinta, Bapak Sarbi dan Ibu Sumariyah yang telah memberikan segalanya yang terbaik buat penulis,
- 4. Seluruh keluarga penulis, Suciandi, Adik Triyas Y.S., Bapak Sunari, Spd., Dianti N.P., yang selalu memberikan motivasi dan dukungan baik materil maupun moril untuk mengerjakan Skripsi ini,
- 5. Asisten Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem, Tri Handoko W., dan temanteman asisten yang lain, yang telah memberikan bantuan dalam pengerjaan penelitian,
- 6. Teman-teman seperjuangan (angkatan 2008 semuanya), terutama Clief, Osye, Iqbal, Dadang, Harun, Bagas, Abhe, Danny, Arga dan Jemmy yang secara langsung maupun tidak langsung ikut membantu dalam menyelesaikan Skripsi ini.

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

		ANTAR	i
			ii
		BEL	iv
DAFTAR	R GA	MBAR	v
		MPIRAN	vii
RINGKA	SAN		viii
BAB I	PEN	NDAHULUAN	
	1.1	Latar Belakang	1
	1.2		2
	1.3	Batasan Masalah	3
		Tujuan Penelitian	3
	1.5	Manfaat Penelitian	3
BAB II		JAUAN PUSTAKA	-
	2.1	Penelitian Sebelumnya	4
	2.2	Gasket	4
		2.2.1 Corrugated Metal Gasket	6
		2.2.2 Pengkodean dan Ukuran pada Metal Gasket	7
	2.3	Prosedur Pengetatan (Tightening Prosedure)	8
	2.4	Analisa Tegangan dan Regangan	10
		2.4.1 Tegangan	10
		2.4.2 Regangan	14
		2.4.3 Hubungan Tegangan dan Regangan	14
		2.4.4 Tegangan Kontak (Contact Stress)	17
	2.5	Metode Elemen Hingga	17
		2.5.1 Elemen Satu Dimensi	18
		2.5.2 Elemen Dua Dimensi	18
		2.5.3 Elemen Selaput (Shell)	18
		Software Ansys	25
	2.7	Hipotesis	26
BAB III	ME	TODE PENELITIAN	
	3.1	Metode Penelitian	27
	3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	27

3.3	Variabel Penelitian	27
3.4	Bahan dan Peralatan Penelitian	28
3.5	Geometri Benda Kerja	29
3.6	Prosedur Pengetatan	31
3.7	Meshing	33
3.8	Proses Pembebanan (Bolt Pretension)	35
3.9	Langkah-langkah Simulasi	35
	2.9.1 Prepocessing	35
	2.9.2 Solution	36
	2.9.3 Postprocessing	36
3.10	Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian	37
BAB IV HAS	IL DAN PEMBAHASAN	
4.1	Hasil dan Simulasi Pembebanan	38
4.2	Pembahasan	39
	4.2.1 Prosedur Pengetatan I	39
	4.2.2 Prosedur Pengetatan II	41
	4.2.3 Perbandingan antara Prosedur Pengetatan I dan II	42
BAB V PENU	OTUP PEL MARKET	
5.1	Kesimpulan	44
5.2	Saran	44
DAFTAR PUS	STAKA SA LEN AND AND AND AND AND AND AND AND AND AN	
LAMPIRAN		



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halamar
Tabel 2.1	Standar Ukuran Metal Gasket	8
Tabel 2.2	Kode atau Penomoran Gasket	8
Tabel 3.1	Urutan Pembebanan pada Prosedur Pengetatan I	33
Tabel 3.2	Urutan Pembehanan nada Prosedur Pengetatan II	33





DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halamar
Gambar 2.1	Gasket dalam sambungan pipa	5
Gambar 2.2	Macam-macam gasket	6
Gambar 2.3	Corrugated metal gasket	7
Gambar 2.4	Penampang gasket secara axisymmetric	7
Gambar 2.5	Urutan prosedur pengetatan baut	9
Gambar 2.6	Perbandingan ukuran gasket	10
Gambar 2.7	Batang yang diberi gaya aksial (P) pada ujungnya	11
Gambar 2.8	Benda padat yang diberi gaya dari berbagai arah	12
Gambar 2.9	Tegangan pada bidang kubus	13
Gambar 2.10	Hubungan Tegangan dan Regangan	15
Gambar 2.11	Tegangan Kontak	17
Gambar 2.12	(a) Gas engine crankshaft, (b) Joy swivel link	19
Gambar 2.13	Diskretisasi elemen	20
Gambar 2.14	Elemen tetrahedral	23
Gambar 2.15	Elemen heksahedron, (a) Elemen pejal segiempat induk,	
	(b) Pasangan isoparametriknya	24
Gambar 3.1	Grafik hubungan Tegangan - Regangan pada material	
	SUS304	27
Gambar 3.2	Grafik hubungan Tegangan – Ragangan pada material SS400	28
Gambar 3.3	Pemodelan metal gasket type 80A secara axysimmetric	28
Gambar 3.4	Pemodelan 3D metal gasket type 80A	29
Gambar 3.5	Dimensi flange 2D	29
Gambar 3.6	Pemodelan 3D metal gasket ukuran 80A pada flange	30
Gambar 3.7	Urutan prosedur pengetatan baut	30
Gambar 3.8	Efek pengetatan baut akibat perubahan posisi baut pada	
	flange	31
Gambar 3.9	Meshing benda kerja	33
Gambar 3.10	Pembebanan (bolt pretension)	34
Gambar 3.11	Diagram alir penelitian	36

Gambar 4.1	Distribusi contact status pada bidang kontak sepanjang	
	keliling lingkaran gasket	38
Gambar 4.2	Distribusi contact stress pada bidang kontak penmpang atas	
	gasket	39
Gambar 4.3	Bidang kontak gasket	40
Gambar 4.4	Grafik distribusi contact stress prosedur pengetatan I pada	
	bidang kontak 2	40
Gambar 4.5	Grafik distribusi contact stress prosedur pengetatan I pada	
	bidang kontak 3	40
Gambar 4.6	Grafik distribusi contact stress prosedur pengetatan II pada	
	bidang kontak 2	41
Gambar 4.7	Grafik distribusi contact stress prosedur pengetatan II pada	
	bidang kontak 3	42
Gambar 4.8	Grafik perbandingan antara prosedur pengetatan I dan II	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Data Hasil Simulasi Prosedur Pengetatan pada Bidang Kontak 2
 Lampiran 2 Tabel Data Hasil Simulasi Prosedur Pengetatan pada Bidang Kontak 3

Lampiran 3 Tabel Nilai Faktor "M" dan "Y"





RINGKASAN

Sucianto, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2013, Evaluasi Prosedur Pengetatan Flange pada Metal Gasket Type 80A, Dosen Pembimbing: Moch. Agus Choiron dan Anindito Purnowidodo.

Metal gasket merupakan alternatif pengganti gasket asbestos dengan bentuk new corrugated mampu menghasilkan contact stress tinggi pada bagian permukaan cembung gasket. Untuk mendapatkan distribusi contact stress yang seragam perlu diperhatikan prosedur pengetatan baut.

Dalam penelitian ini, evaluasi prosedur pengetatan flange pada metal gasket type 80A dianalisa. Urutan pengetatan baut dibagi menjadi dua prosedur pengetatan dengan memnggunakan besar beban yang sama. Target beban yang diterima oleh kedelapan baut masing-masing sebesar 28805 N.

Pemodelan proses pengetatan dilakukan dengan menggunakan software analisis Ansys 13.0 Workbench. Sebuah pendekatan FEM (Finite Element Method) model 3-D dilakukan untuk menyajikan distribusi *contact stress* pada kedua prosedur pengetatan. Dari penelitian tersebut didapatkan contact stress pada area bidang kontak sepanjang keliling lingkaran gasket. Garis seragam kurva merupakan bentuk keseragaman distribusi contact stress pada kedua prosedur pengetatan. Prosedur pengetatan yang paling baik terdapat pada prosedur pengetatan I.

Kata kunci: contact stress, prosedur pengetatan, seragam, metal gasket type 80A.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gasket merupakan sebuah alat dalam permesinan khususnya sistem pemipaan yang mempunyai fungsi sebagai penyekat antara dua elemen mesin yang berpasangan agar fluida yang terkompresi, baik cair maupun gas yang melewati elemen mesin tersebut tidak bocor. Material gasket harus mampu menahan tekanan dan temperatur yang tinggi selama kurun waktu tertentu.

Pada umumnya gasket terbuat dari bahan asbestos karena memiliki kemampuan tinggi dalam mencegah terjadinya kebocoran, bahannya murah dan mudah didapat. Namun produksi dan penggunaan asbestos di Jepang mulai dilarang sejak tahun 2008 karena substansi kimianya memiliki efek berbahaya pada kesehatan. Bahan alternatif pengganti gasket 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 stell 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 (Polytetraflouroethylene).

Pengembangan bahan *gasket* alternatif ini telah dimulai di Jepang lebih dari 20 tahun yang lalu dan masih perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan *gasket* dengan kemampuan yang sama seperti pada *gasket asbestos*. Secara umum, biaya untuk riset material baru untuk *gasket* alternatif terlalu mahal dan juga memerlukan waktu yang lama. Di sisi yang lain juga dikembangkan *gasket* alternatif berbahan *metallic* karena mempunyai keunggulan yaitu tahan terhadap temperatur tinggi dan reaksi kimia, mampu menahan tekanan, dan dapat didaur ulang. Selain itu, dipilih bahan *metal* karena propertis materialnya yang sudah tersedia.

Desain *metal gasket* yang sudah pernah digunakan adalah berbentuk *flat* (datar). Dalam aplikasinya untuk mencegah kebocoran, diperlukan gaya yang besar pada pengetatan baut. *New corrugated metal gasket* merupakan desain alternatif berbahan *metal* yang mempunyai bentuk bergelombang. Kelebihan *gasket* ini adalah *gasket* ini mempunyai efek *springback* yang dapat mengurangi terjadinya efek melonggarnya baut

dan mampu menghasilkan local contact stress yang tinggi pada bagian cembung sehingga dapat mengurangi beban untuk pengetatan baut (Hasan Aftab Saeed, 2008).

Penelitian tentang uji kebocoran new metal gasket type 25A yang dilakukan dengan menggabungkan dua perangkat yaitu uji Helium leak test dan water pressure test untuk mengidentifikasi tingkat kebocoran gasket. Evaluasi uji kebocoran gasket dilakukan dengan kombinasi uji Helium leak test dan water pressure test merupakan pendekatan baru dalam memberikan keputusan terhadap baik-tidaknya desain gasket (Haruyama, 2008). Penelitian dilanjutkan dengan memvalidasi contact width hasil software simulasi komputer dan membandingkannya dengan eksperimen menggunakan pressure sensitive paper, dengan hasil validasi yang cukup valid (Moch. Agus Choiron, 2010). Penelitian tersebut di atas masih dilakukan pada tipe 25A yang menggunakan 4 baut yang disimulasikan dengan model dua dimensi secara axisymmetric.

Tipe gasket yang lebih besar artinya ukuran flange yang digunakan juga lebih besar, sehingga akan mempengaruhi efek kekakuan *flange* selama proses pengetatan pada metal gasket yang ditandai dengan ketidakseragaman persebaran contact stress di setiap lubang baut pada flange (Moch. Agus Choiron, 2011). Efek kekakuan ini disebabkan oleh rotasi *flange* karena pengetatan baut yang menghasilkan *contact stress* yang berbeda di setiap lubang baut.

Dari latar belakang di atas, perlu dilakukan evaluasi prosedur pengetatan flange pada metal gasket type 80A dengan mempertimbangkan distribusi beban yang diberikan pada setiap baut. Analisis tingkat kebocoran gasket dilakukan dengan menggabungkan dua prosedur pengetatan flange untuk hasil yang lebih baik. Model tiga dimensi dipilih sebagai media untuk menyajikan hasil efek kekakuan *flange* pada permukaan *gasket* bergelombang yang diakibatkan oleh rotasi *flange* karena beban yang diterima baut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh proses pengetatan flange pada metal gasket type 80A terhadap distribusi keseragaman contact stress pada permukaan antara gasket dan flange.

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak terlalu luas, maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut:

- 1. Bentuk gasket yang diteliti adalah new corrugated metal gasket type 80A.
- 2. Software yang digunakan adalah software simulasi Ansys 13.0 Workbench.
- 3. Material *flange* dianggap *rigid body*.
- 4. Material *gasket* dianggap elastis-plastis.
- 5. Prosedur pengetatan *flange* yang dipakai adalah kombinasi dua prosedur berdasarkan urutan pengetatan beban baut.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh proses pengetatan *flange* pada *metal gasket type 80A* terhadap keseragaman distribusi *contact stress* pada bagian cembung sepanjang keliling lingkaran *gasket*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

- 1. Mengetahui prosedur pengetatan *flange* pada *new corrugated metal gasket* yang dapat mengatasi permasalahan kebocoran *gasket*.
- 2. Dapat membantu dunia industri khususnya bidang perpipaan dalam mengatasi permalasahan kebocoran *gasket*.
- 3. Sebagai bahan referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

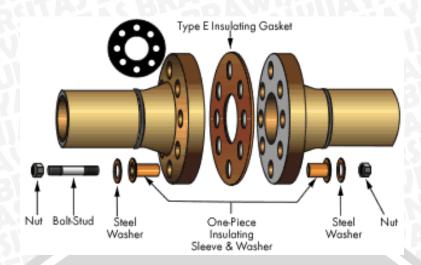
Saeed (2008) mengusulkan ukuran baru *metal gasket* yang menggunakan bentuk bergelombang (*corrugated*). *Gasket* ini memiliki efek *metal spring* dan menghasilkan *local contact stress* yang tinggi untuk membuat garis pembatas dengan *flange*. Hasilnya menegaskan bahwa *contact stress* dan *contact width* merupakan parameter desain penting untuk mengoptimalkan kinerja *metal gasket type* 25A.

Choiron (2010) mengembangkan validasi *contact width* dengan menggunakan analisis simulasi komputer dan hasilnya dikomparasikan dengan eksperimen menggunakan *pressure sensitive paper*. Dalam studi sebelumnya, jumlah baut untuk *metal gasket type* 25A hanya empat, karena itu pengurangan kekakuan *flange* relatif kecil. Model *metal gasket type* 25A yang digunakan adalah dua-dimensi secara *axisymmetric*.

Choiron (2011) meneliti tentang evaluasi pengetatan new metal gasket type 400A. Urutan pengetatan beban baut dibagi menjadi dua prosedur pengetatan. Hasil pengukuran kebocoran digunakan untuk membandingkan efek kedua prosedur pengetatan dengan menggunakan hubungan antara uji Helium leak test dan clamping load dari flange. Sebuah model FEM (Finite Element Method) dilakukan untuk menyajikan efek contact stress pada kedua prosedur pengetatan.

2.2 Gasket

Gasket secara sederhana dapat diartikan sebagai suatu seal yang berfungsi untuk menutup atau menyegel flange pada sistem pemipaan atau pada equipment process (peralatan-peralatan yang berkaitan dengan mesin). Definisi bebas tentang gasket yaitu, sebuah alat untuk menutup atau menyegel dua permukaan dengan cara memberikan dan menyimpan energi di antara dua permukaan tersebut (James Walker Moorflax). Definisi yang lain untuk gasket ialah sebuah segel mekanik (mechanical seal) yang mengisi ruang antara dua permukaan yang digabungkan, pada umumnya gasket berfungsi untuk mencegah kebocoran dari sebuah sambungan (joined) di bawah kondisi bertekanan (compression). Dari difinisi di atas, gasket dapat diartikan sebagai suatu alat untuk menutup atau menyegel celah di antara dua permukaan flange untuk mencegah terjadinya kebocoran.



Gambar 2.1 Gasket dalam sambungan pipa

Sumber: http://www.westcoastcorrosion.com/Materials/Advance%20Products/flange_insulating_gasket_kits.htm

Sebuah seal dipengaruhi oleh gaya aksi pada permukaan *gasket*. Gaya ini yang akan menekan *gasket* yang menyebabkan gaya tersebut terdistribusi ke permukaan *flange* dan permukan kecil *flange*. Kombinasi *contact stress* yang dihasilkan oleh gaya di antara *gasket* dan *flange*, dan densifikasi material *gasket* mencegah lepasnya fluida terlepas dari sambungan.

Berdasarkan bahan pembentuknya, gasket dibagi menjadi dua yaitu gasket asbestos dan gasket non-asbestos. Gasket non-asbestos dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan material penyusunnya, yaitu :

a. Non-metallic gasket

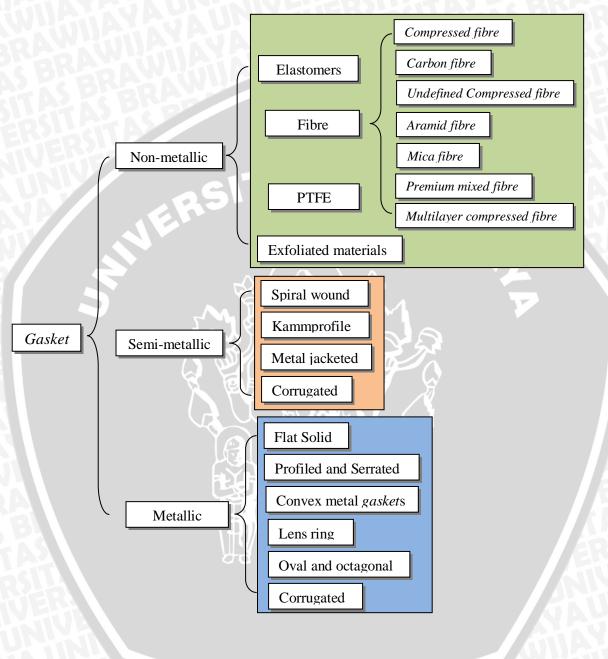
Non-metallic gasket biasanya berupa bahan lembaran komposit yang digunakan dengan permukaan datar dan permukaan flange yang terangkat dalam aplikasi tekanan rendah. Non-metallic gasket dibuat dari serat arimid, fiber glass, elastomer, grafit, Teflon ® (PTFE – polytetraflouroethylene), dll.

b. Semi-metallic gasket

Semi-metallic gasket merupakan komposit yang terdiri dari bahan logam dan non-logam. Bagian logam ini dimaksudkan untuk memberikan kekuatan dan ketahanan, sedangkan bagian non-logam memberikan kemantapan dan kenyamanan bahan penyekat. Contohnya: spiral wound dan camprofile gasket, metal jacketed gaskets dan MRG (Metal Reinforces Gaskets).

c. Metallic gasket

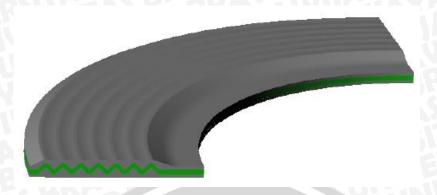
Metallic gasket dibuat dari satu atau kombinasi dari logam dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Contohnya: corrugated metal gasket, flat metal gasket, dan ochtogonal metal gasket.



Gambar 2.2 Macam-macam *gasket* Sumber: Choiron (2011:2)

2.2.1 Corrugated Metal Gasket

Corrugated metal gasket adalah gasket berbahan dasar metal dengan permukaan yang bergelombang atau beralur concentric pada sisinya, seperti pada Gambar 2.3.

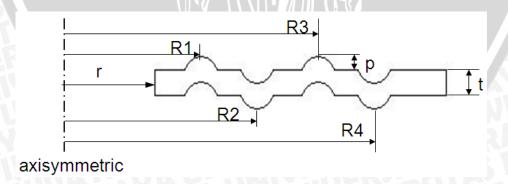


Gambar 2.3 Corrugated metal gasket Sumber: www.trianglefluid.com

Kelebihan corrugated metal gasket adalah clamping load yang dibutuhkan untuk mengetatkan baut lebih kecil dibandingkan dengan *flat metal gasket*, karena permukaan corrugated metal gasket yang bersentuhan dengan flange lebih sedikit tetapi menghasilkan kemampuan menyekat yang baik. Bentuk convex yang dimiliki menghasilkan tegangan kontak (contact stress) yang besar pada permukaan flange.

2.2.2 Pengkodean dan Ukuran pada Metal Gasket

Metal gasket sudah banyak digunakan di dunia industri. Oleh karena itu para perusahaan manufaktur yang memproduksi gasket mengacu pada standar gasket sesuai dengan ukuran dan material properties dari gasket yang diproduksi, sehingga memudahkan untuk memilih sesuai dengan kebutuhan. Ukuran standar metal gasket ditunjukkan pada Tabel 2.1, sedangkan untuk kode penomoran gasket seperti pada Tabel 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.4 Penampang gasket secara axisymmetric Sumber: Choiron (2011)

Table 2.1 Standar Ukuran Metal Gasket

	r (mm)	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	R4 (mm)	t (mm)	p (mm)	
25A	17.5	20	23	26	29	1.17	0.37	
50A	30.05	33	37	41	45	1.35	0.27	
80A	44.95	49	53	57	61	1.68	0.27	
100A	57.5	61	65	69	73	1.69	0.28	
400A	205	209	214	219	224	2.15	0.26	
Sumber: Choiron (2011) .2 Kode atau Penomoran Gasket								

Tabel 2.2 Kode atau Penomoran Gasket

							PN					
Dim	ension in m	m	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 20	22 28	39 50	51 60	51 60	51 60	51 60	61	61	61	72	72	78
25	35	57	70	70	70	70	82	- 00	82	83	92	404
32	43	65	70 82	70 82	70 82	82	02	82	02	0.3	92	104
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
100 125	115 114	149 175	162 192	162 192	168 194	168 194	174 210	180 217	180 217	202 242	229 274	256 301
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	-
300 350	325 368	363 421	377 437	383 443	400 457	417 474	424 486	458 512	458	536	-	-
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	-	-	-	-
800 900	820 920	882 987	917 1017	911 1011	942 1042	974 1084	988 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 2000	1840 2040	1940 2140	1972 2182	1964 2168	2000 2230	-	-	-	-	-	-	-
2200	2240	2340	3284	2378	2230	-	-	-	-	-	-	-
2400	2440	2540	2594	2370	_	_			_			
2600	2650	2750	2794	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2800	2870	2970	3014	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3000	3080	3180	3228	-	-	-	-	-	-	-	-	-

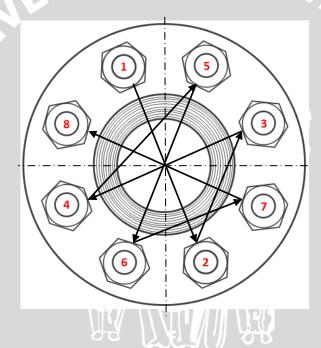
Sumber: Kemchen & Co. GmbH buyer guide.

2.3 Prosedur Pengetatan (Tightening Prosedure)

Prosedur pengetatan mengikuti kode ASME Bagian VIII, menetapkan kriteria untuk desain flange dan menyarankan nilai-nilai "M" (maintenance factor) dan "Y"

(tegangan kontak minimal *gasket*) yang diterapkan pada *gasket*. "*M*" adalah faktor yang menyediakan *preload* tambahan dalam *flange* untuk mempertahankan pengetatan beban tekan pada *gasket* setelah tekanan internal diterapkan pada sambungan. "*Y*" adalah tegangan tekan minimum dalam Newton per meter persegi (Pascal) pada daerah kontak dari *gasket* yang diperlukan untuk memberikan penyekatan pada tekanan internal dari 2 Psig (13,79 Pa).

Prosedur pengetatan dilakukan dengan menerapkan pembebanan pada tiap baut yang dibagi menjadi beberapa step dengan target beban yang seragam pada pengetatan terakhir. Prosedur pengetatan beban baut dibagi menjadi dua prosedur berdasarkan prosedur pengetatan 8 baut dengan urutan pengetatan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Urutan prosedur pengetatan baut
Sumber: http://www.wermac.org/flanges/flanges_general_part9.html

Perhitungan beban pengetatan yang diterima gasket mengacu pada beban pengetatan pada *metal gasket type 25A*. Beban yang pengetatan yang direkomendasikan untuk *type 25A* sebesar 100 KN. Untuk *gasket* dengan tipe yang lain perlu dilakukan perhitungan yang mengacu pada rumus berikut:

$$\sigma_1 = \sigma_2$$
 dengan,
$$\sigma_1 = P_1/(2\pi r_1 \cdot t + 2\pi r_3 t)$$

$$\sigma_2 = P_2/(2\pi R_1 t + 2\pi R_3 t)$$

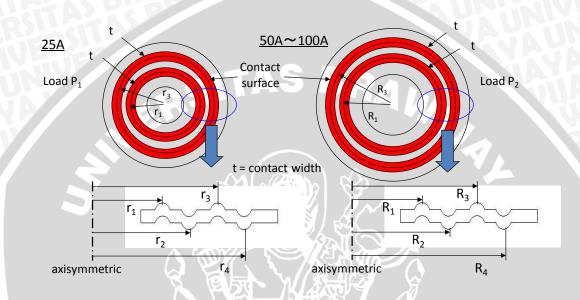
$$P_2 = P_1 \sum_{1}^{2} \frac{R_{upper}}{R_{lower}} \tag{2-1}$$

 σ_1 : Tegangan pada *metal gasket type 25A* (MPa)

 σ_2 : Tegangan pada *metal gasket type* yang lain (MPa)

P₁: Beban pengetatan pada *metal gasket type 25A* (kN)

P₂ : Beban pengetatan pada *metal gasket type* yang lain (kN)

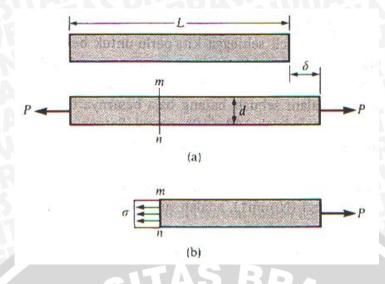


Gambar 2.6 Perbandingan ukuran *gasket* Sumber: Choiron (2011:93)

2.4 Analisa Tegangan dan Regangan

2.4.1 Tegangan

Tegangan (*stress*) didefinisikan sebagai gaya aksial berupa tarikan atau tekanan yang bekerja pada setiap luas penampang (*cross section*). Dalam kasus yang sederhana dapat diilustrasikan pada sebuah batang yang diberi gaya-gaya aksial sehingga menimbulkan suatu tarikan yang sama rata pada batang (*tension*) seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.7 Batang yang diberi gaya aksial (*P*) pada ujungnya Sumber: Gere (1987:3)

Untuk menyelidiki tegangan internal yang terjadi, maka dibuat potongan mn (Gambar 2.7a). Kemudian batang yang sudah di potong tersebut dipisahkan menjadi sebuah $free\ body$ (Gambar 2.7b). Beban tarik P bekerja pada ujung bebas sebelah kanan benda bebas ini, sedangkan bagian yang lain bekerja gaya aksi dari batang yang dipotong. Intensitas gaya (σ) yaitu gaya per luas satuan disebut tegangan (stress). Dengan menganggap bahwa tegangan terdistribusi secara merata pada seluruh penampang batang, maka resultan sama dengan intensitas σ dikali luas penampang A dan batang. Dimana besarnya resultan sama dengan P yang dikenakan tetapi arahnya berlawanan.

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{2-2}$$

dengan,

 σ adalah besarnya tegangan (Pascal)

P adalah besarnya gaya yang bekerja (N)

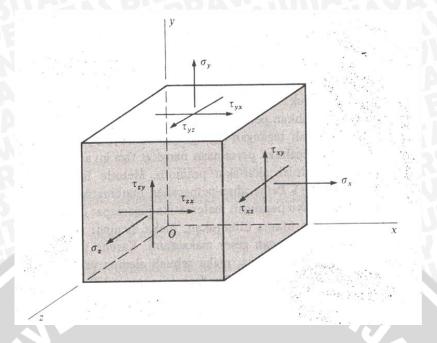
A adalah luas penampang (m²)

Pada kasus umum tegangan tidak terbagi merata di sepanjang potongan penampang. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 2.8 berikut:

Gambar 2.8 Benda padat yang diberi gaya dari berbagai arah Sumber: Timoshenko (1986:2)

Dari gambar 2.8 di atas, tegangan tidak terbagi merata sepanjang mm. Untuk memperoleh besar gaya yang bekerja pada luasan kecil δA , misalnya dari potongan penampang mm pada titik O sebarang, 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 rasio $\delta P/\delta A$ 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 2.9 berikut ini:



Gambar 2.9 Tegangan pada bidang kubus Sumber: Gere (1996:349)

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

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_{yy} & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$
(2-3)

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 kita akan menjumpai istilah tegangan prinsipal (*principal stress*), 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 ($\sigma_3 = \sigma_z = 0$).

2.4.2 Regangan

Regangan adalah perubahan bentuk tanpa dimensi untuk menyatakan adanya deformasi. Regangan yang ditimbulkan dari gaya tarik disebut dengan regangan tarik (tensile strain) yang menyatakan suatu pemanjangan atau tarikan dari bahan. Sedangkan jika batangnya mengalami penekanan, maka dinamakan regangan tekan (compressive strain). Regangan tarik berharga positif sedangkan regangan tekan berharga negatif.

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:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \tag{2-4}$$

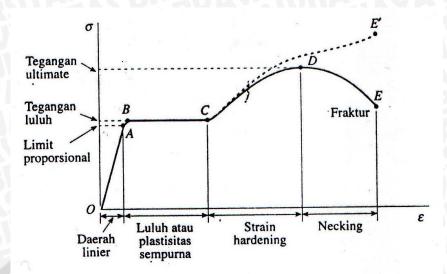
dengan, $\varepsilon = \text{Besarnya regangan}$

 δ = Besarnya pertambahan panjang (m)

L = Panjang awal (m)

2.4.3 Hubungan antara Tegangan dan Regangan

Tegangan dan regangan senantiasa berhubungan pada setiap bahan (walaupun hubungan ini dapat berubah karena suhu, laju pembebanan dan sebagainya). Pada kondisi tegangan dibawah tingkat kristis akan memenuhi Hukum Hooke yang menyatakan bahwa deformasi adalah berbanding lurus terhadap beban yang ditimbulkan. Hal ini sesuai dengan diagram tegangan regangan yang ditunjukkan dalam gambar berikut:



Gambar 2.10 Hubungan tegangan dan regangan Sumber: Gere (1987:10)

Dalam hal ini:

- Titik proporsional merupakan titik kesetimbangan antara tegangan dan regangan.
- Titik luluh merupakan titik tempat terjadinya penambahan regangan tanpa disertai penambahan beban.
- Titik *ultimate* merupakan titik tempat tertinggi yang dapat dicapai oleh bahan tersebut.
- Titik patah merupakan titik bahan tersebut mengalami patah.

Di dalam diagram tegangan regangan dikenal:

- Daerah elastis yaitu daerah tempat terjadinya deformasi elastis (dari nol sampai batas elastis).
- Daerah plastis merupakan daerah tempat terjadinya deformasi plastis (dari batas elastis sampai titik *ultimate*).
- Daerah patah merupakan daerah tempat terjadinya patah.
 Hukum Hooke secara sistematis dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \tag{2-5}$$

dengan, E = Modulus Elastisitas/Modulus Young (Pascal)

 σ = Tegangan (Pascal)

 $\varepsilon = \text{Regangan}$

Modulus Elastisitas (Modulus Young) dinyatakan sebagai perbandingan antara tegangan dan regangan. Modulus Elastisitas merupakan karakteristik suatu logam tertentu karena setiap logam memiliki Modulus Elastisitas yang berbeda.

Pada kondisi plastis, deformasi yang terjadi pada material bersifat irreversible dan pada kondisi ini hukum Hooke sudah tidak berlaku lagi. Salah satu karakteristik yang perlu dipahami dari deformasi plastis pada material logam adalah logam tidak mempunyai sifat mampu tekan (incompressible), sehingga pada deformasi plastis volume dari material logam adalah konstan.

Bila dilihat pada diagram tegangan-regangan sebenarnya pada kondisi plastis hubungan tegangan-regangan dapat dirumuskan dengan:

$$\sigma = K.\varepsilon^n \tag{2-6}$$

dengan,

 $\sigma = \text{Tegangan (Pascal)}$

K =Konstanta penguatan

 $\varepsilon = \text{Regangan}$

n = eksponensial strain hardening

Dalam analisa untuk mendapatkan penyelesaian masalah deformasi, maka perlu mengidealisasikan hubungan antara tegangan-regangan yang terjadi. Pada umumnya ada empat pemodelan 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 dinaikkan. Pada kurva diagram tegangan-regangan pemodelan material ini dapat dilihat pada Gambar 2.10. Pemodelan yang kedua adalah rigid linear strain hardening, yaitu pemodelan material yang tanpa mengalami deformasi elastis sehingga hanya terjadi deformasi plastis dan pada saat penambahan deformasi plastis maka akan diikuti oleh penambahan pembebanan secara linier diagram tegangan-regangan.

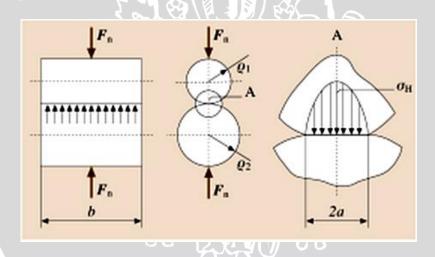
Untuk material logam sendiri biasanya tergolong material yang elastroplastic, yang dimana pada material terjadi dua macam deformasi elastis dan deformasi plastis. Pada material jenis ini pemodelan yang digunakan adalah jenis ketiga dan keempat, yaitu elastic perfectly plastic dan elastis linier strain hardening. Pada pemodelan 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.

2.4.4 Tegangan Kontak (Contact Stress)

Tegangan kontak (contact stress) terjadi karena interaksi antar elemen yang mengalami kontak pada bidang area kontak tersebut. Misalnya, kontak antara dua buah permukaan melingkar pada silinder baja (gesekan pada gear dan bantalan rol). Karena pengaruh gaya eksternal, ketika gear dan rolling-contact bergerak dalam bantalan, kontak terjadi di area sempit. Hasilnya tegangan tinggi muncul di lapisan permukaan dan material di sekitarnya mengalami tegangan volumetrik (volumetric stress).

Sebuah gaya normal diterapkan pada dua elemen dalam kontak akan menimbulkan bidang kontak akibat deformasi dari kedua elemen dan menghasilkan tegangan normal. Tegangan normal yang terjadi pada permukaan kontak disebut tegangan kontak (contact stress).



Gambar 2.11 Distribusi tegangan kontak pada silinder melingkar Sumber: Grote (2009:331)

2. 5 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan prosedur numerik untuk memperoleh solusi permasalahan yang ditemukan analisa teknik. Konsep dasar metode elemen hingga 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 di atas masih dapat dikembangkan lagi menurut kebutuhan, antara lain jenis struktur dan ketelitian yang diinginkan.

5.3.1 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.

5.3.2 Elemen dua dimensi

Menurut bidang pembebanannya, 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.

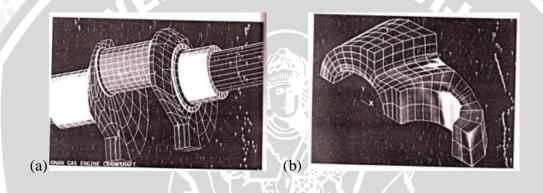
Bentuk paling sederhana dari elemen dua dimensi ini adalah elemen segitiga dengan tiga titik nodal, kemudian elemen segiempat dengan empat titik nodal. Bila dikehendaki ketelitian yang lebih tinggi, maka jumlah titik nodal tiap elemen dapat ditingkatkan dan juga dibuat elemen isoparametrik.

5.3.3 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

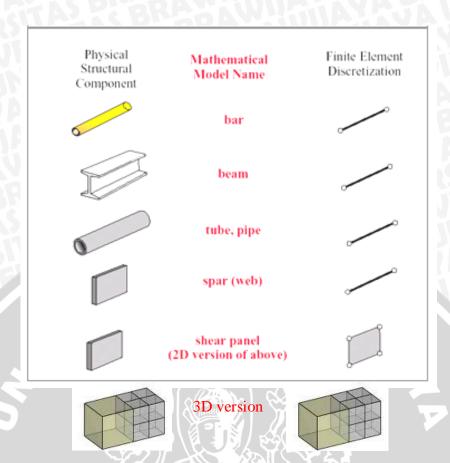
lurus bidangnya. Dan bidang elemen ini dapat tidak rata atau rata seperti pada elemen bidang atau elemen pelat.

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 komplek. Tujuan utama penggunaan metode ini adalah untuk memperoleh nilai pendekatan tegangan dan perpindahan yang terjadi pada suatu struktur.



Gambar 2.12 (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 2.13 Diskretisasi elemen Sumber: Modul ANSYS Classic 2012, Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem

Prosedur perhitungan dengan Metode Elemen Hingga (MEH)

1. Diskretisasi dan pemilihan elemen

Proses ini dalah 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 matriks kekakuan [k]

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

$$[k] = \int [B]^{T} [C][B] dV$$
 (2-7)

dengan,

[k] : matriks kekakuan elemen

[B] : matriks konstitutif hubungan regangan dan perpindahan

[C] : matriks konstitutif hubungan tegangan dan regangan material

Adapun matriks B untuk elemen tetrahedral adalah sebagai berikut:

$$B_{1} = \begin{bmatrix} f_{i,x} & 0 & 0 \\ 0 & f_{i,y} & 0 \\ 0 & 0 & f_{i,z} \\ f_{i,y} & f_{i,x} & 0 \\ 0 & f_{i,z} & f_{i,y} \\ f_{i,z} & 0 & f_{i,x} \end{bmatrix}$$

4. Menghitung matriks beban total

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

$$R = Q_{NF} + Q_{BF} + Q_T \tag{2-8}$$

dengan,

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:

$$[K] \{q\} = \{R\}$$
 (2-9)

dengan,

[K] : matriks kekakuan elemen

{q} : vektor perpindahan simpul

{R} : matriks beban total

Setelah matriks 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:

Persamaan di atas akan diselesaikan dengan cara eliminasi Gauss untuk mendapatkan besaran-besaran primer yaitu q₁, q₂, q₃q_n.

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 matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix}
\sigma_{x} \\
\sigma_{y} \\
\sigma_{z} \\
\tau_{xy} \\
\tau_{yz} \\
\tau_{zx}
\end{bmatrix} = \underbrace{\frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \begin{bmatrix}
1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\
\nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\
\nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2}
\end{bmatrix}}_{\gamma_{xy}} \begin{bmatrix}
\varepsilon_{x} \\
\varepsilon_{y} \\
\varepsilon_{z} \\
\gamma_{xy} \\
\gamma_{yz} \\
\gamma_{zx}
\end{bmatrix}$$

Hubungan tersebut dapat ditulis dalam bentuk simbol berikut:

$$\{\sigma\}=[C] \{\in\}$$

Hubungan regangan dengan perpindahan adalah:

$$\{\in\}=[B]\{d\}$$

Sehingga tegangan dapat dirumuskan sebagai:

$$\{\sigma\} = [C] [B] \{d\}$$

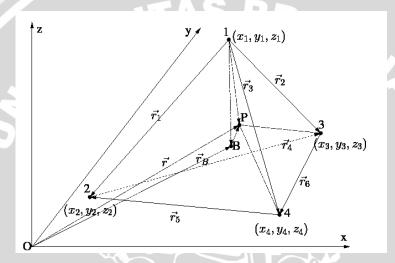
Hasil akhir dari perhitungan dengan metode elemen hingga ini berupa harga distribusi tegangan yang akan diplot di sepanjang struktur untuk dianalisis sesuai dengan rumusan masalah yang ada.

Analisa elemen hingga pada dasarnya dikembangkan untuk kondisi 2-D (plane stress). Struktur 3-D menyebabkan penambahan persamaan berganda dalam jumlah besar, tetapi dengan menggunakan elemen dengan orde lebih tinggi dan komputer yang lebih cepat, maka masalah tersebut dapat diatasi oleh metode elemen hingga.

Macam-macam bentuk elemen solid 3D pada elemen hingga:

1. Elemen tetrahedral

Elemen tetrahedral didefinisikan dalam tiga sumbu koordinat x, y, z, sehingga memiliki tiga komponen perpindahan yaitu u, v, w. Skema elemen tetrahedral dalam sumbu koordinat dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.14 Elemen tetrahedral Sumber: A. Nentchev. Numerical Analysis and Simulation in Microelectronics by Vector Finite Elements

Untuk mendapatkan volume tetrahedral, V, maka dengan menggunakan fungsi determinan dari matriks tetrahedral.

$$6V = det \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i & z_i \\ 1 & x_j & y_j & z_j \\ 1 & x_m & y_m & z_m \\ 1 & x_p & y_p & z_p \end{vmatrix}$$
 (2-12)

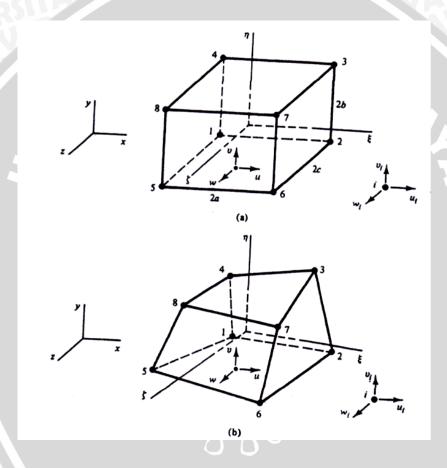
Persamaan di atas akan menghasilkan nilai dari volume tetrahedral. Persamaan di atas juga akan diselesaikan dengan menggunakan kofaktor dari determinan matriks tersebut, sehingga diperoleh nilai dari a_i, b_i, c_i, d_i sebagai komponen untuk memperoleh besarnya perpindahan dengan menggunakan persamaan:

$$N_i = \frac{a_i + b_i x + c_i y + d_i z}{6V} \tag{2-13}$$

Dengan menggunakan persamaan tersebut, akan diperoleh besarnya perpindahan sebagai besaran primer. 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. (R.L. Taylor, 2000)

2. Elemen heksahedron

Elemen heksahedron didefinisikan dalam tiga sumbu koordinat x, y, z sehingga memiliki tiga komponen perpindahan yaitu u, v, w. Skema elemen heksahedron dalam sumbu koordinat dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.15 Elemen *heksahedron* (a) Elemen pejal segiempat induk. (b) Pasangan isoparametriknya

Sumber: Elemen Hingga Untuk Analisa Struktur (1989)

Hubungan antara regangan-peralihan dapat lebih disederhanakan menjadi:

$$\epsilon_t = B_i q_i \ (i = 1, 2, ..., 8)$$
 (2-14)

dengan,

$$B_i = df_i = \begin{bmatrix} f_{i,x} & 0 & 0 \\ 0 & f_{i,x} & 0 \\ 0 & 0 & f_{i,x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{G1i} & 0 & 0 \\ 0 & D_{G2i} & 0 \\ 0 & 0 & D_{G3i} \end{bmatrix}$$

Sehingga dari hubungan antara regangan dan peralihan dapat dieliminasi sehingga akan mendapatkan tegangan dan regangan dalam metode elemen hingga.

2.6 Software Ansys

Software yang berbasis elemen hingga ini mempunyai kelebihan yaitu kemampuan untuk mendiskritisasi model dengan halus, mampu bekerja dengan elemen yang lebih banyak dan menghasilkan output dengan ketelitian tinggi. Ansys dapat digunakan untuk menganilisis antara lain : analisis structural, analisis thermal, analisis elektris, analisis magnetis, dan analisis fluida.

Secara umum langkah-langkah analisis dengan menggunakan Ansys dibagi menjadi tiga, yaitu *Preprocessing* (proses awal), *Solution* (proses solusi), dan *Postprocessing* (proses pembacaan hasil).

1. Preprocessing

Tahap-tahap penting dalam preprocessing:

- a. Pemodelan geometri: dilakukan proses modeling geometri baik 1D, 2D mapun 3D.
- b. Pemilihan tipe elemen: digunakan untuk mendiskritisasi model yang dibuat.
- c. Material properties: input data materialyang digunakan
- d. Meshing: pembagian struktur menjadi elemen-elemen kecil/elemen diskrit.

Pembuatan model geometri benda kerja dapat juga dilakukan dengan menggunakan software CAD yang kemudian di-eksport ke dalam Ansys.

2. Solution

Tahap-tahap penting dalam solution:

- a. Mendefinisikan analisis solusi (*Analisys Type*)
- b. Memasukkan kondisi batas (*Constrain*)
- c. Menerapkan pembebanan
- d. Penyelesaian (Solving)

3. Postprocessing

Hasil analisis dari proses solusi dapat ditampilkan dalam bentuk tabel maupun dalam bentuk *plot result* dan *list result*.

a. Plot result

Dengan menggunakan contour plot akan tampak distribusi tegangan atau hasil lain pada model sehingga mudah dalam menginterpretasikan informasi yang disajikan.

b. List result

Hasil analisis dalam bentuk *list result* berupa tabel yang memberikan informasi secara detail nilai perpindahan, tegangan dan regangan yang terjadi pada objek yang dianalisis.

c. Animasi

Hasil analisis yang diperoleh dapat ditampilkan dalam bentuk animasi.

2.7 Hipotesis

Proses pengetatan baut pada flange dan metal gasket type 80A dapat mempengaruhi distribusi keseragaman contact stress dan menghasilkan nilai contact stress yang tinggi pada permukaan antara gasket dan flange. Semakin tinggi nilai contact stress dan distribusinya seragam maka semakin tinggi kemampuan gasket untuk mencegah kebocoran.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental semu, yaitu melakukan studi literatur untuk mencari hubungan sebab akibat dalam suatu proses melalui pengumpulan data dari berbagai sumber, kemudian data tersebut diolah dalam simulasi yang menggunakan *software* berbasis elemen hingga.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dengan spesifikasi komputer sebagai berikut:

Operating system : MS Windows 7 Ultimate 64-bit

Prosesor : Intel (R) Core (TM) i7-2600 CPU @3,40 GHz

RAM : 16384 GB Dual-Channel DDR @200 MHz

Sedangkan untuk waktu penelitian dilaksanakan pada bulan November - Desember 2012.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Variabel Bebas adalah variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel yang lain. Besarnya variabel ini ditentukan sebelum penelitian. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi dua prosedur pengetatan baut dengan variasi pembebanan tiap baut yaitu 14402 N, 21603 N dan 28805 N.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas yang ditentukan. Nilai dari variabel terikat diketahui setelah melakukan penelitian. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah *contact stress* (tegangan kontak).

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama penelitian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah :

- Properties material yang digunakan
- Contact Status

- Prosedur pengetatan yang digunakan menggunakan 2 variasi percobaan.

3.4 Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk *metal type* 80A adalah *stainless steel* SUS304 karena efektif dalam kondisi temperatur dan tekanan tinggi. Karakteristik material SUS304 yang akan disimulasikan adalah sebagai berikut:

	3.6 1.1	T71	D 1	T) 0:1	ID OI
-	Modulus	Elastisitas	Bahan ($E_1 = 2$	10 GPa

Angka Poisson	(v)	= 0.3
I III SKU I OUSSOIL	· •	- U.S

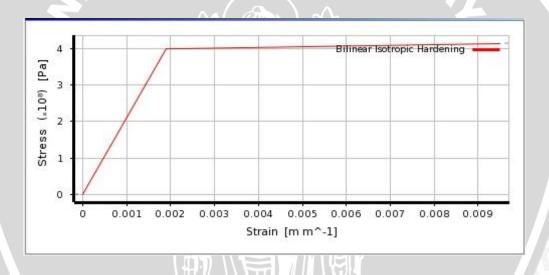
- Tegangan *Yield* (σ_v) = 398,83 MPa

- Tangent Modulus = 1900,53 MPa

- Densitas Bahan $= 8000 \text{ kg/m}^3$

- *Ultimate Tensile Strenght* = 520 Mpa

Pemodelan material SUS304 dapat ditunjukkan pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Grafik hubungan Tegangan – Regangan pada material SUS304 Sumber: Ansys 13.0 Workbench

Bahan yang digunakan untuk *flange* adalah *structural steel* SS400. Karakteristik material SS400 adalah sebagai berikut:

Modulus Fl	astisitas Rahan	(\mathbf{F}) –	206 GPa

12	Angka <i>Poisson</i> (v)	= 0.3
	I III Z Ku I U ISSUM V I	- 0.5

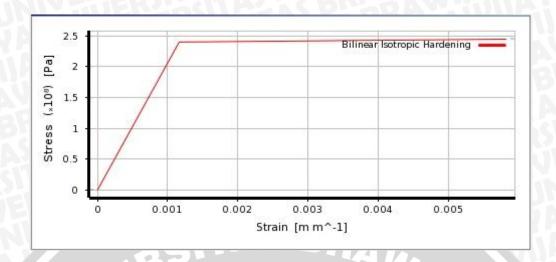
- Tegangan *Yield* (σ_v) = 240 MPa

- Tangent Modulus = 1000 MPa

- Densitas Bahan = 7860 kg/m^3

- *Ultimate Tensile Strenght* = 510 Mpa

Pemodelan material SS400 dapat ditunjukkan pada Gambar 3.2 di bawah ini.

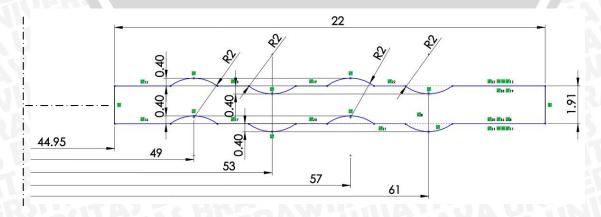


Gambar 3.2 Grafik hubungan Tegangan – Ragangan pada material SS400 Sumber: Ansys 13.0 Workbench

Material dimodelkan secara *bilinear isotropic hardening* karena model material plastisitas ini digunakan dalam analisis regangan besar. Kurva tegangan-regangan bilinier didapatkan dengan memasukkan nilai *yield strength* dan *tangent modulus*. Kemiringan segmen pertama dalam kurva setara dengan *modulus young* sementara kemiringan segmen kedua setara dengan *tangent modulus*. (Ansys, 2013)

3.5 Geometri Benda Kerja

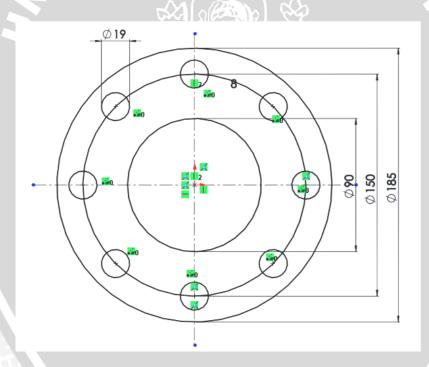
Desain geometri benda kerja dibentuk dari model secara *axysimmetric* pada *software* CAD Solidwork. Dimensi geometri *metal gasket* tipe 80A ditunjukkan pada Gambar 3.3. Dari model tersebut kemudian dibentuk model 3D untuk *metal gasket* tipe 80A seperti pada Gambar 3.4 berikut.



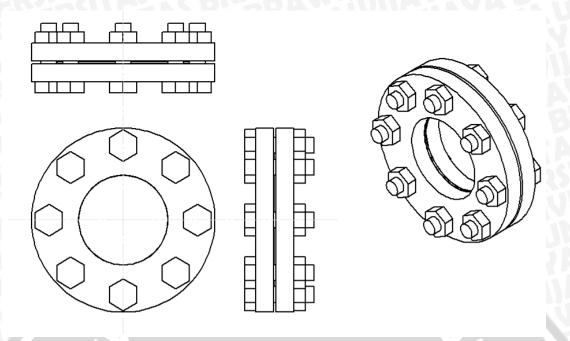
Gambar 3.3 Pemodelan metal gasket type 80A secara axysimmetric

Gambar 3.4 Pemodelan 3D metal gasket type 80A

Dimensi geometri *flange* yang dipakai mempunyai ketebalan 18 mm dan radius 185 mm berdasarkan JIS B2404 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 berikut.



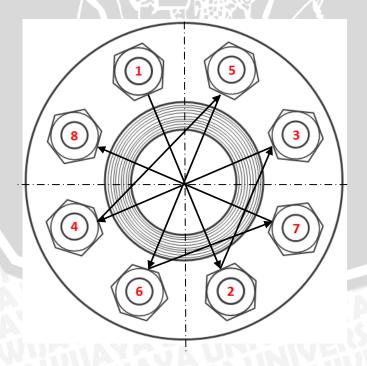
Gambar 3.5 Dimensi flange 2D



Gambar 3.6 Pemodelan 3D metal gasket tipe 80A pada flange

3.6 Prosedur Pengetatan

Urutan pengetatan beban baut ditunjukkan pada Gambar 3.7. Prosedur pengetatan beban baut dibagi menjadi dua percobaan berdasarkan prosedur pengetatan.



Gambar 3.7 Urutan prosedur pengetatan baut

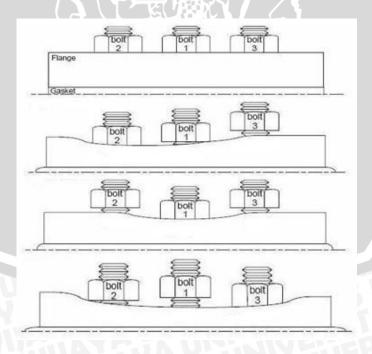
Dalam percobaan pertama, prosedur pengetatan dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

- 1. Urutan pengetatan baut dimulai dari baut nomor 1~2 dengan pembebanan sebesar 14402 N.
- 2. Dengan prosedur yang sama, pengetatan dilanjutkan pada baut nomor 3~4, 5~6, kemudian 7~8 secara berurutan.
- 3. Setelah langkah nomor 1 dan 2 dilakukan, dengan prosedur yang sama diulang pembebanan sebesar 21604 N kemudian 28805 N secara berurutan. Urutan pembebanan baut lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Dalam percobaan kedua, prosedur pengetatan sebagai berikut:

- Pengetatan baut dimulai dari baut nomor 1~2 dengan pemberian beban berturutturut sebesar 14402, 21603, dan 28805 N.
- Setelah langkah nomor 1 dilakukan, dengan prosedur yang sama diulang pada baut nomor 3~4, 5~6, kemudian 7~8 secara berurutan. Nilai baut nomor 1~2 tanpa beban akan berubah karena efek pengetatan baut lainnya akibat perubahan posisi baut pada *flange* (Gambar 3.8).

Urutan pembebanan baut lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 3.2.



Gambar 3.8 Efek pengetatan baut akibat perubahan posisi baut pada *flange* Sumber: Chiron, dkk (2011)

Tabel 3.1 Urutan Pembebanan pada Prosedur Pengetatan I

	Pembebanan tiap Baut [N] Tota								
Langkah	Baut 1~2	Baut 3~4	Baut 5~6	Baut 7~8	pembebanan [N]				
1	14402	0	0	0	28804				
2	14402	14402	0	0	57608				
3	14402	14402	14402	0	86412				
4	14402	14402	14402	14402	115216				
5	21603	14402	14402	14402	129618				
6	21603	21603	14402	14402	144020				
7	21603	21603	21603	14402	158422				
8	21603	21603	21603	21603	172824				
9	28805	21603	21603	21603	187228				
10	28805	28805	21603	21603	201632				
11	28805	28805	28805	21603	216036				
12	28805	28805	28805	28805	230440				

Tabel 3.2 Urutan Pembebanan pada Prosedur Pengetatan II

	Total				
Langkah	Baut 1~2	Baut 3~4	Baut 5~6	Baut 7~8	pembebanan [N]
1	14402	@ O.R.	7/0	R 0	28804
2	21603	0		0/	43206
3	28805	0	0	0	57610
4	28805	14402	75-07 2		86416
5	28805	21603		0	100818
6	28805	28805	0	0	115220
7	28805	28805	14402	0	144026
8	28805	28805	21603	0 20	158428
9	28805	28805	28805	0	172830
10	28805	28805	28805	14402	201636
11	28805	28805	28805	21603	216038
12	28805	28805	28805	28805	230440

3.7 Meshing

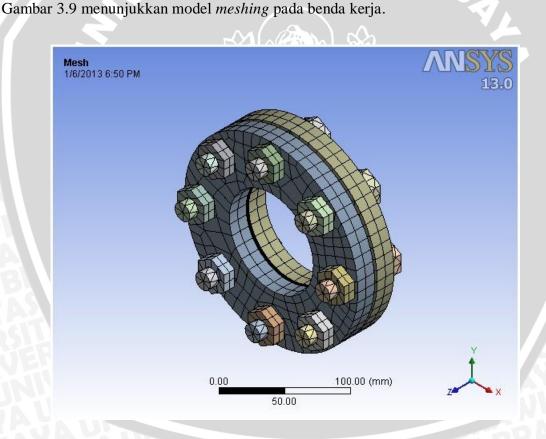
Meshing adalah proses membagi spesimen menjadi elemen-elemen kecil. Semakin kecil elemen yang dibentuk semakin besar pula persamaan yang harus diselesaikan oleh software sehingga beban komputer akan semakin besar tetapi hasil yang akan diperoleh juga semakin akurat.

Pada software ANSYS 13 ini meshing dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu manual dan otomatis. Cara manual yaitu user akan mendiskritasikan banyaknya elemen yang akan terbentuk dengan memasukkan tipe, ukuran, dan jumlah elemen sesuai dengan yang dikehendaki. Sedangkan cara otomatis user cukup memilih tipe elemen untuk ukuran dan jumlah elemen yang terbentuk secara otomatis ANSYS akan menentukan sendiri tergantung dari permodelan benda kerja yang digambar dan spesifikasi komputer yang digunakan. Dalam penelitian ini digunakan meshing secara manual dengan penentuan ukuran mesh yang dipakai pada simulasi ini adalah sebagai berikut:

Body gasket : 0,7 mm

Face (permukaan) cembung dan cekung gasket : 0,4 mm

Body flange, baut dan mur : 7,5 mm

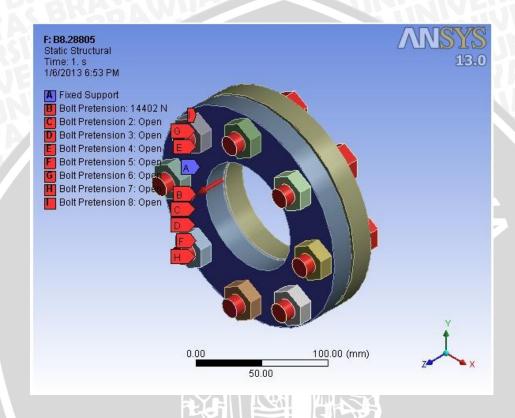


Gambar 3.9 *Meshing* benda kerja

3.8 Proses Pembebanan (Bolt pretension)

Proses pengetatan beban baut disimulasikan dengan menggunakan jenis pembebanan bolt pretension yang mempunyai kemampuan pembebanan dari dua arah

aksial. Kedua gaya aksial pada baut yang masing-masing mengarah ke dalam saling berlawanan arah berfungsi untuk mengetatkan kedua flange (Gambar 3.10). Kemudian gaya tersebut diteruskan oleh *flange* untuk menekan kedua permukaan *gasket*, sehingga gasket mengalami deformasi. Hasilnya, terdapat bidang kontak (contact status) antara gasket dengan flange dan menghasilkan contact stress pada bagian cembung di sepanjang keliling lingkaran gasket.



Gambar 3.10 Pembebanan (bolt pretension)

3.9 Langkah-langkah Simulasi

Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan software analisis Ansys 13.0 Workbench dengan analisis sistem secara Static Structural. Langkah-langkah proses simulasi dibagi menjadi 3 tahap, yaitu:

- 1. Preprocessing
- 2. Solution
- **Postprocessing**

3.9.1 Preprocessing

Pada tahap ini dilakukan pemodelan metal gasket ukuran 80A:

BRAWIJAYA

- 1. *Import* file geometri benda kerja yang sudah dimodelkan dari *software* Solidwork dalam bentuk *file type* (.SLDASM) ke dalam *software* analisis Ansys 13.0 Workbench.
- 2. Menentukan jenis sistem analisis, dalam hal ini dipilih jenis Static Structural.
- 3. Memasukkan material properties untuk metal gasket type 80A dan flange.
- 4. Melakukan *meshing* pada semua *body* benda kerja.
- 5. Menentukan besar pembebanan pada tiap baut (*bolt pretension*) sesuai variasi prosedur pengetatan beban baut.

3.9.2 Solution

Pada tahap ini mendefinisikan jenis analisa yang akan digunakan dengan memasukkan kondisi batas dan menerapkan kontak antara *gasket* dan *flange* selama proses pengetatan baut. Dalam simulasi ini dipilih:

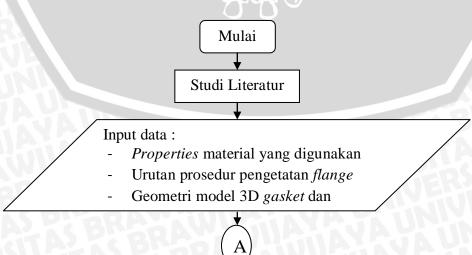
- Normal Stress pada semua body.
- Contact Status dan Contact Stress pada body gasket.

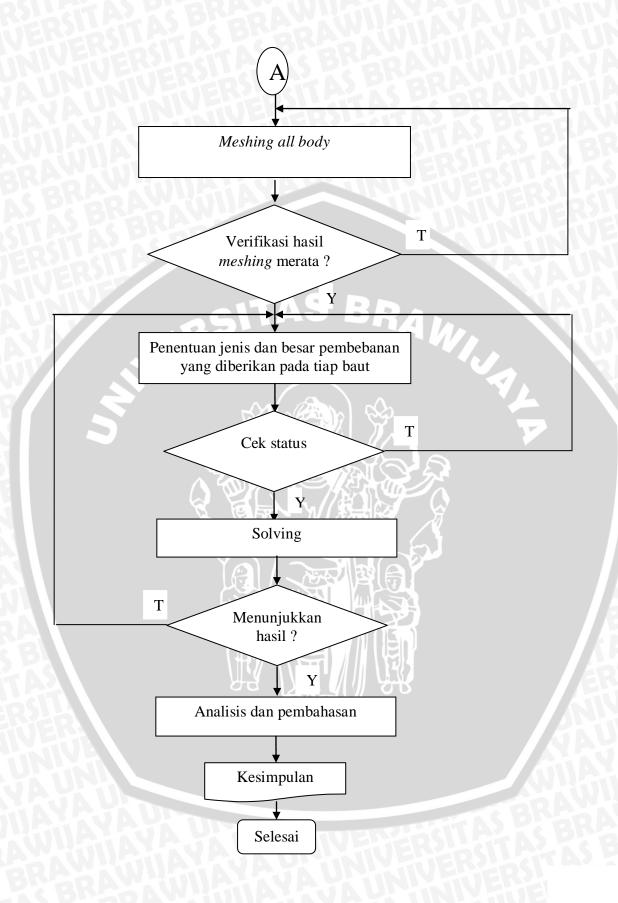
3.9.3 Postprocessing

Menganalisis hasil dari proses simulasi yang telah dilakukan ke dalam tabel maupun grafik. Dalam penelitian ini dilakukan analisis distribusi nilai *contact stress* pada bagian cembung di sepanjang keliling lingkaran *gasket*.

3.10 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

Alur pemikiran yang dilakukan pada penelitian ini sesuai dengan diagram alir (flow chart) pelaksanaan penelitian sebagai berikut:





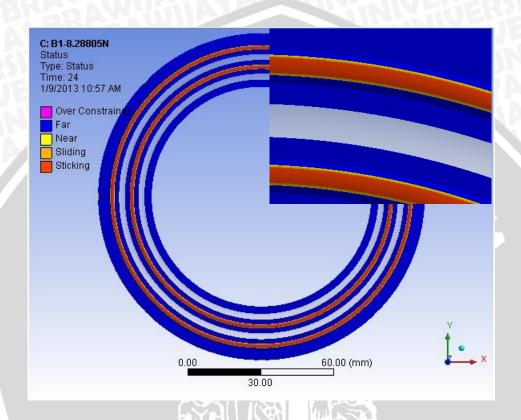
Gambar 3.11 Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

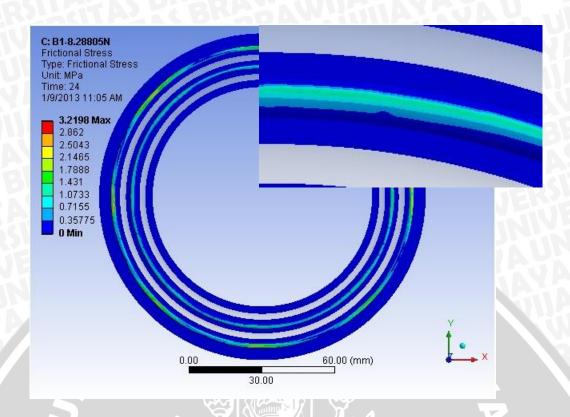
4.1 Hasil Simulasi Pembebanan

Hasil simulasi menggunakan *software* Ansys 13.0 Workbench dengan sistem analisis Static Structural secara visual dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.1 Distribusi *contact status* pada bidang kontak sepanjang keliling lingkaran *gasket*

Berdasarkan Gambar 4.1 di atas menunjukkan area kontak antara pemukaan cembung gasket dengan permukaan flange yang ditandai oleh warna merah. Area kontak warna merah menunjukkan lebar kontak (contact width) antara permukaan cembung gasket dan flange. Nilai contact width terbesar terjadi pada bidang kontak nomor 2 dan 3. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya, yaitu pada metal gasket ukuran 25A dan 400A, dimana pada bidang kontak nomor 2 dan 3 menghasilkan contact width yang lebih besar dan terdapat contact stress (tegangan kontak) yang lebih besar, (Choiron, 2011).



Gambar 4.2 Distribusi contact stress pada bidang kontak penampang atas gasket

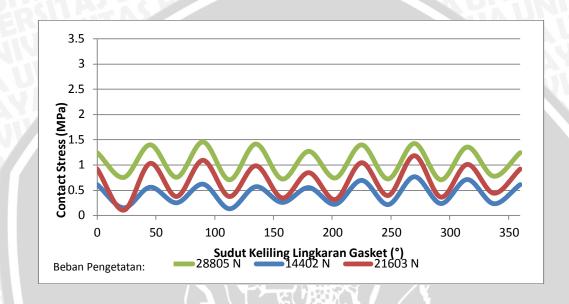
Gambar 4.2 di atas menunjukkan distribusi *contact stress* pada bidang kontak penampang atas *gasket*. Persebaran warna yang merata sepanjang keliling lingkaran *gasket* menunjukkan distribusi *contact stress* yang merata pada bidang kontak *gasket* tersebut.

4.2 Pembahasan

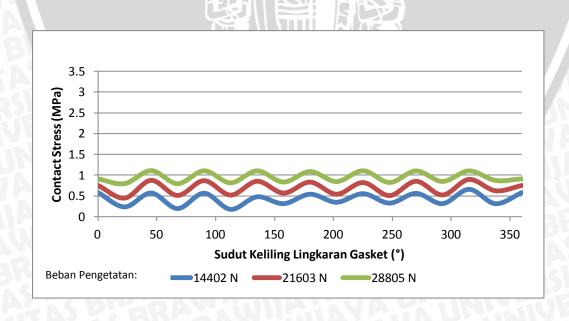
4.2.1 Prosedur Pengetatan I

Dari simulasi prosedur pengetatan I yang telah dilakukan, didapatkan hasil dalam bentuk grafik distribusi *contact stress* prosedur pengetatan I pada bidang kontak 2 dan bidang kontak 3 (Gambar 4.4 dan Gambar 4.5). Berdasarkan grafik pada Gambar 4.4. dan Gambar 4.5 dapat dilihat distribusi *contact stress* sepanjang keliling lingkaran *gasket*. Secara umum kedua grafik menunjukkan nilai *contact stress* meningkat sebanding dengan penambahan beban pengetatan baut. Garis gelombang kurva yang merata pada proses pengetatan beban baut 28805 N sampai pengetatan kedelapan baut menunjukkan distribusi *contact stress* yang seragam.

Gambar 4.3 Bidang kontak gasket



Gambar 4.4 Grafik distribusi contact stress prosedur pengetatan I pada bidang kontak 2

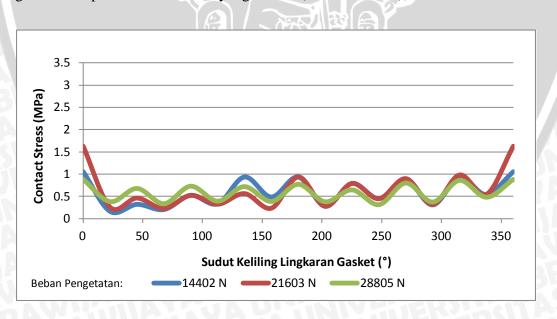


Gambar 4.5 Grafik distribusi contact stress prosedur pengetatan I pada bidang kontak 3

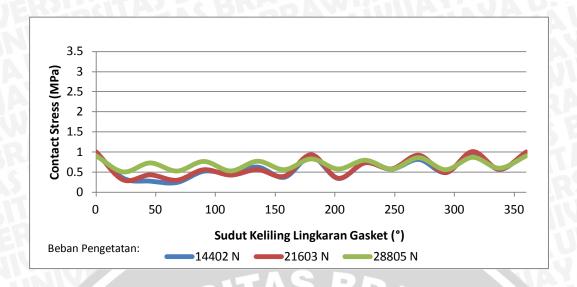
4.2.2 Prosedur Pengetatan II

Dari simulasi prosedur pengetatan II yang telah dilakukan, didapatkan hasil dalam bentuk grafik distribusi *contact stress* prosedur pengetatan II pada bidang kontak 2 dan bidang kontak 3 (Gambar 4.6 dan Gambar 4.7). Berdasarkan Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 dapat dilihat distribusi *contact stress* sepanjang keliling lingkaran *gasket*. Hasil proses pengetatan beban baut menunjukkan kecenderungan distribusi *contact stress* yang seragam. Hal ini dapat dilihat pada kedua grafik di atas (Gambar 4.6 dan Gambar 4.7) menunjukkan sebaran gelombang kurva yang merata untuk pengetatan baut 28805 N sampai kedelapan baut.

Perpindahan pengetatan beban baut dari baut 1~2 ke baut 3~4 dan seterusnya dengan selisih beban besar menghasilkan efek lendutan pada *flange*, sehingga menghasilkan distribusi *contact stress* yang berbeda di setiap sudut sepanjang keliling lingkaran *gasket*. Hal ini dapat dilihat pada kedua grafik di atas untuk setiap penambahan beban pengetatan baut terjadi pergeseran sebaran gelombang yang menuju ke arah lebih merata. Hal ini menunjukkan bahwa keseragaman *contact stress* terjadi setelah proses pengetatan baut sampai kedelapan baut pada step terakhir. Perbandingan distribusi *contact stress* pada tipe 400A, dengan prosedur pengetatan yang sama pada penelitian sebelumnya dihasilkan keseragaman *contact stress* terjadi setelah proses pengetatan sampai ke-16 baut/baut yang terkhir (Choiron, 2011).



Gambar 4.6 Grafik distribusi *contact stress* prosedur pengetatan II pada bidang kontak 2



Gambar 4.7 Grafik distribusi *contact stress* prosedur pengetatan II pada bidang kontak 3

4.2.3 Perbandingan antara Prosedur Pengetatan I dan II

Hasil analisa perbandingan antara prosedur pengetatan I dan II yang telah dilakukan, dapat diketahui perbandingan antara prosedur pengetatan I dan prosedur pengetatan II (Gambar 4.8). Kurva pada prosedur pengetatan I menunjukkan sebaran gelombang yang lebih merata daripada kurva pada prosedur pengetatan II. Selain itu, dari keempat grafik sebelumnya (Gambar 4.4, Gambar 4.5, Gambar 4.6 dan Gambar 4.7) dapat diketahui bahwa pada prosedur pengetatan I terjadi peningkatan nilai *contact stress* secara kontinyu sesuai dengan penambahan beban pengetatan baut. Berdasarkan kedua kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa prosedur pengetatan yang paling baik adalah prosedur pengetatan I.

Kedua prosedur pengetatan di atas menunjukkan sebaran gelombang kurva yang merata setelah proses pengetatan kedelapan baut pada beban paling besar. Hal ini dikomparasikan dengan penelitian sebelumnya, yaitu dengan menggunakan prosedur pengetatan dihasilkan *contact stress* yang seragam sepanjang keliling lingkaran *gasket* (Fukuoka, 2003).

Gambar 4.8 Grafik perbandingan antara prosedur pengetatan I dan II

Dari hasil analisa grafik yang telah dilakukan, masih menunjukkan range sebaran gelombang kurva yang cukup besar. Hal ini disebabkan karena ukuran *meshing* yang digunakan yang masih terlalu kasar. Dimungkinkan ketika ukuran *meshing* yang digunakan lebih halus (ukuran tiap elemennya lebih kecil), hasil sebaran gelombangnya akan lebih merata. Dengan sebaran gelombang kurva yang merata menunjukkan distribusi *contact stress* yang seragam pada bidang kontak sepanjang keliling lingkaran *gasket*, sehingga mempunyai tingkat kemampuan menahan kebocoran lebih tinggi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Area kontak yang terjadi antara pemukaan cembung *gasket* dengan permukaan *flange* yang menunjukkan lebar kontak (*contact width*). Nilai *contact width* terbesar terjadi pada bidang kontak nomor 2 dan 3.
- Prosedur pengetatan flange pada metal gasket type 80A mempunyai pengaruh terhadap distribusi contact stress di sepanjang permukaan cembung keliling lingkaran gasket.
- Prosedur pengetatan yang paling baik adalah prosedur pengetatan I yang ditunjukkan oleh nilai sebaran gelombang kurva yang lebih merata dan peningkatan nilai contact stress yang kontinyu dengan penambahan beban pengetatan baut.

5.2 Saran

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

- 1. Perlu dilalukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi pembagian step pengetatan beban baut agar didapatkan prosedur pengetatan yang optimal dalam menghasilkan distribusi *contact stress* yang seragam.
- 2. Perlu diperhatikan urutan pemberian beban pengetatan baut sesuai prosedur yang telah direkomendasikan agar dihasilkan nilai *contact stress* yang seragam dan nilainya tinggi.
- 3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai prosedur pengetatan beban baut dengan variasi ukuran *meshing* yang lebih halus agar didapatkan distribusi *contact stress* yang seragam dan nilainya tinggi pada bagian cembung di sepanjang keliling lingkaran *gasket*.
- 4. Perlu diperhalus ukuran *meshing* agar didapatkan sebaran gelombang kurva yang lebih merata dan menghasilkan distribusi *contact stress* seragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Bathe, Klaus-Jurgen. 1996. Finite Element Procedures. New Jersey: Prentice Hall.
- Choiron, Moch. Agus, Haruyama, Shigeyuki dan Kaminishi, Ken. 2011. *Tightening Evaluation of New 400A Size Metal Gasket*. Jepang: proceedings of the 8th International Conference on Innovation & Management (2011).
- Fukuoka, Toshimichi & Takaki, Tomohiro. 2003. Finite Element Simulastion of Bolt-Up of Pipe Flange Connections with Spiral Wound Gasket. Jepang: Journal of Pressure Vessel Technology.
- Gere, James N. & Timoshenko, Stephen P. 1987. *Mekanika Bahan*. Alih bahasa oleh Hans J. Wospakrik. Jakarta: Erlangga.
- Grote, Karl-Heinrich, & Antosson, Erik K. 2009. *Design of Machine Elements*. Springer Handbook of Mechanical Engineering.
- Iremonger, MJ. 1990. *Dasar Analisis Tegangan*. Alih bahasa oleh Sardi S. Jakarta : UI-Press.
- Modul ANSYS Classic. 2012. Malang: Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Robert, D Cook. 1990. *Metode Elemen Hingga*. Alih bahasa oleh Bambang Surya A. Bandung: PT. Eresco
- Saeed, Hasan Aftab, dkk. 2008. Development of New Metallic Gasket and ist Optimum Design for Leakage Performance. Jepang: Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering.
- 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

Tabel Data Hasil Simulasi Prosedur Pengetatan pada Bidang Kontak $2\,$

Sudut Keliling	Prosedur Pengetatan 1			Prosedur Pengetatan 2		
Lingkaran Gasket	14402 N	21603 N	28805 N	14402 N	21603 N	28805 N
0	0,61217	0,92299	1,2457	1,0564	1,631	0,88216
22,5	0,15485	0,10357	0,75108	0,16347	0,26069	0,37886
45	0,56	1,0357	1,4024	0,32188	0,46663	0,67703
67,5	0,25368	0,37596	0,75415	0,20404	0,2324	0,3329
90	0,62058	1,0974	1,4596	0,52279	0,52867	0,72799
112,5	0,1357	0,37536	0,70355	0,33358	0,32838	0,38968
135	0,57061	0,9876	1,4179	0,93725	0,56675	0,7184
157,5	0,26104	0,34648	0,71957	0,48753	0,23926	0,38432
180	0,55308	0,85114	1,272	0,93725	0,94201	0,77156
202,5	0,22415	0,31591	0,73959	0,27673	0,28263	0,37642
225	0,69558	1,0496	1,4007	0,79357	0,79485	0,64555
247,5	0,21748	0,39486	0,72089	0,45137	0,45235	0,31122
270	0,76692	1,1892	1,4279	0,86878	0,90354	0,80069
292,5	0,2386	0,36331	0,70421	0,31013	0,32164	0,37043
315	0,71186	1,0154	1,3575	0,92918	0,98641	0,86047
337,5	0,23579	0,44163	0,775	0,54313	0,54921	0,47916
360	0,61217	0,92299	1,2457	1,0564	1,631	0,88216

LAMPIRAN 2 Tabel Data Hasil Simulasi Prosedur Pengetatan pada Bidang Kontak 3

Sudut Keliling	Prose	dur Pengetata	in 1	Prosedur Pengetatan 2		
Lingkaran Gasket	14402 N	21603 N	28805 N	14402 N	21603N	28805 N
0	0,57858	0,75467	0,9125	0,98941	1,005	0,90056
22,5	0,23696	0,45155	0,79796	0,34728	0,30958	0,50511
45	0,56792	0,87689	1,1089	0,27132	0,43243	0,72525
67,5	0,19738	0,51531	0,79584	0,23732	0,30033	0,52609
90	0,56303	0,86916	1,1051	0,5201	0,56147	0,76139
112,5	0,17759	0,52362	0,81714	0,46631	0,42824	0,52821
135	0,47722	0,85556	1,1039	0,62487	0,56392	0,76751
157,5	0,31404	0,57233	0,83538	0,36893	0,39893	0,56053
180	0,54019	0,83507	1,0875	0,89034	0,93456	0,82394
202,5	0,34805	0,54482	0,84771	0,33985	0,34875	0,57619
225	0,5528	0,82466	1,106	0,72993	0,73706	0,79143
247,5	0,32723	0,51193	0,82628	0,57339	0,58555	0,57544
270	0,55956	0,85501	1,1017	0,81649	0,92345	0,85416
292,5	0,31449	0,52681	0,85061	0,48795	0,48809	0,55868
315	0,65641	0,89883	1,1032	0,99105	1,014	0,86369
337,5	0,31377	0,62707	0,87436	0,56558	0,57428	0,59669
360	0,57858	0,75467	0,9125	0,98941	1,005	0,90056

LAMPIRAN 3

Tabel Nilai Faktor "M" dan "Y"

Gasket Desig	n	Gasket Material	Gasket Factor "M"	Min. Design Seating Stress "Y" (psi)
Spiral wound metal, non-asbestos filled		Stainless steel or MONEL®	3.00	10,000
Garlock CONTROLLED DENSITY® flexible graphite- filled spiral wound		Stainless steel or MONEL®	3.00	7,500
Garlock EDGE®		Stainless steel or MONEL®	2.00 2.00 (1/16")	5,000 2,000 (1/16")
Garlock GRAPHONIC®		flexible graphite Liquid service:	9.00 (1/8")	3,000 (1/8")
Corrugated metal, non-asbestos or Corrugated metal-jacketed, non-asbestos filled		Soft aluminum Soft copper or brass Iron or soft steel MONEL® or 4%-6% chrome Stainless steel	2.50 2.75 3.00 3.25 3.50	2,900 3,700 4,500 5,500 6,500
Corrugated metal	2000	Soft aluminum Soft copper or brass Iron or soft steel MONEL® or 4%-6% chrome Stainless steel	2.75 3.00 3.25 3.50 3.75	3,700 4,500 5,500 6,500 7,600
Flat metal-jacketed, non-asbestos filled		Soft aluminum Soft copper or brass Iron or soft steel MONEL® 4%-6% chrome Stainless steel	3.25 3.50 3.75 3.50 3.75 3.75	5,500 6,500 7,600 8,000 9,000 9,000
Grooved metal		Soft aluminum Soft copper or brass Iron or soft steel MONEL® or 4%-6% chrome Stainless steel	3.25 3.50 3.75 3.75 4.25	5,500 6,500 7,600 9,000 10,100
Solid flat metal		Soft aluminum Soft copper or brass Iron or soft steel MONEL® or 4%-6% chrome Stainless steel	4.00 4.75 5.50 6.00 6.50	8,800 13,000 18,000 21,800 26,000
Ring joint		Iron or soft steel MONEL® or 4%-6% chrome Stainless steel	5.50 6.00 6.50	18,000 21,800 26,000

Sumber: Garlock Metallic Gasket

