

**ANALISIS TEGANGAN NOZZLE A1 KO DRUM VENT/FLARE 43-VZ-3601
AKIBAT CACAT PRODUKSI MENGGUNAKAN FINITE ELEMEN ANALYSIS (FEA)**

Kasda

Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Subang
Jalan Arief Rachman Hakim No. 8 Subang
kasdakasdoels@gmail.com

Abstrak

Selama fabrikasi, ada ketidak sempurnaan geometri pada *KO Drum Vent/Flare 43-VZ-3601* dalam bentuk ketidakbulatan (*out of roundness*). Analisis tegangan diperlukan untuk memastikan bahwa ketidaksempurnaan geometri ini tidak mengarah pada kegagalan waktu operasi. Analisis tegangan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ABAQUS, dengan pemodelan menggunakan *Autodesk Inventor 2012* dengan solid model. Nozzle A1 dipilih untuk kasus dianalisis karena akibat beban tekanan dalam dan beban eksternal mengakibatkan ketidakbulatan pada wilayah sekitar nozzle A1 paling besar. Analisis didasarkan pada ASME Bagian VIII divisi 2 dan sifat mekanik bahan berdasarkan ASME Bagian II. Efek ketidakbulatan dievaluasi dengan membandingkan hasil analisis antara geometri sempurna dengan geometri cacat yang dikenai dua kasus beban, yaitu beban tekanan internal saja dan beban gabungan (tekanan internal dan beban eksternal nozzle). Tekanan ditentukan berdasarkan tekanan desain dan beban eksternal nozzle berdasarkan GS EP PVV 211. Analisis elemen hingga difokuskan pada area nozzle, dengan beberapa penyederhanaan model bejana dengan tetap mempertimbangkan kearutan hasil analisis. Berdasarkan hasil analisis elemen hingga untuk kasus beban tekanan internal, terdapat peningkatan tegangan yang signifikan, khususnya di area kritis, hingga 14,3%, Namun untuk kasus beban gabungan (tekanan internal dan beban eksternal pada nozzle), terjadi penurunan tegangan pada daerah nozzle A1. Namun demikian, hasil akhir analisis, tegangan untuk semua kasus masih di bawah batas tegangan 1,5 Tegangan yang diijinkan. Hal ini menggambarkan bahwa kondisi operasi bejana pada kondisi yang aman.

Kata Kunci: Cacat Ketidakbulatan, Nozzle A1, Tekanan Internal, Beban Gabungan, Analisis Elemen Hingga

Pendahuluan

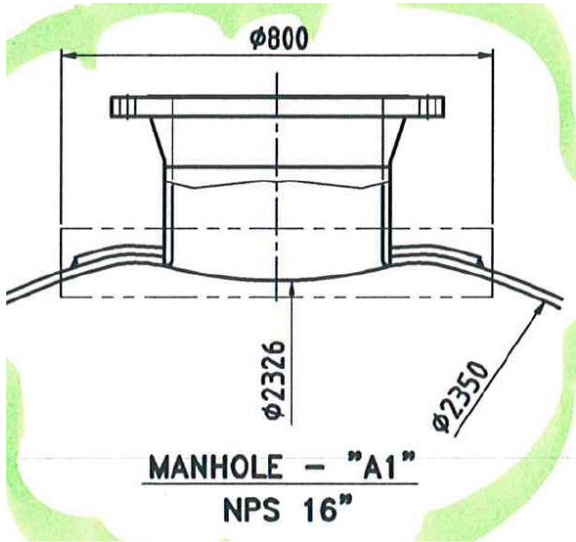
Akibat dari ketidaksempurnaan selama proses penyambungan antara nozzle dengan bejana tekan Vent/Flare KO Drum 43-VZ-3601, maka terjadi penekukan pada sambungan bejana nozzle A1. Hal ini mengakibatkan terjadinya ketidakbulatan (*out of roundness*) pada daerah tersebut, sehingga dikhawatirkan bejana tidak dapat beroperasi dengan aman. Untuk memastikan bahwa bejana dapat beroperasi dengan aman, maka perlu dilakukan analisis tegangan menggunakan metoda elemen hingga

terutama pada daerah sambungan nozzle yang dapat mewakili kondisi actual geometri yang tidak sempurna.

Analisis elemen hingga dilakukan dengan bantuan software paket *Abaqus/CAE versi 6.1* dengan model geometri dibuat secara solid menggunakan software *Autodesk Inventor 2012*. Analisis dilakukan dengan kasus pembebanan yaitu kasus tekanan dalam saja dan kasus beban gabungan antara tekanan dalam dan beban eksternal pada nozzle.

Data dan Pemodelan

Pemodelan dilakukan berdasarkan gambar ilustrasi No. MPO-D243-2 untuk Vent/Flare KO Drum 43-VZ-3601 seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Ketidakbulatan pada daerah nozzle A1 Bejana 43-VZ-3601

Berdasarkan informasi dari gambar teknik, kedua shell terbuat dari pelat SA-240 316L tebal 16mm, 2350mm ID. Nozzle A1 berfungsi sebagai “fluid inlet from vent header”, terbuat dari pipa dengan NPS 16” sch XS (tebal 12,7mm atau 0,5”), dengan flange rating 150#, material SA-240 316L (external attachment). Sambungan diberi reinforcement pad berukuran tebal 19mm dan diameter 670 mm untuk 43-VZ-3601.

Spesifikasi minimum sifat material SA-240 316L dapat diperoleh dari ASME Sect II Part D: Properties. Data sifat material yang sebenarnya diperoleh dari pengujian sampel material dalam Inspection Certificate. Kedua data ditampilkan dalam Tabel 1.

Menurut informasi, material pada daerah sambungan telah mengalami deformasi plastis secara permanen, ditambah dengan kemungkinan pemanasan yang berlebih akibat proses pengelasan. Hal ini dapat menyebabkan perubahan pada sifat mekanik pelat bejana. Analisis ini tidak mencakup perubahan sifat mekanik material

akibat deformasi plastis maupun pemanasan lokal.

Tabel 1 Sifat Mekanik Material SA-240 316L

No	Sifat	Minimum Specified ¹	Testing ²
1	Ultimate Strength	70 ksi (485 MPa)	82 ksi (567 MPa)
2	Yield Strength	25 ksi (170 MPa)	41 ksi (284 MPa)
3	Allowable Stress (at 300 F)	16,7 ksi (115 MPa)	-
4	Modulus of Elasticity	29 x 10 ³ ksi (200 GPa)	-

¹ Sumber: ASME II Part D

² Sumber: Inspection certificate

Bejana tekan mengalami beban utama design pressure sebesar 15 barg, pada design temperature -26^oC (min.) dan 110^oC (max.). Selain tekanan internal, berdasarkan spesifikasi perusahaan klien, Nozzle A1 harus mampu menerima pembebanan eksternal akibat perpipaan minimal, seperti pada Tabel 2

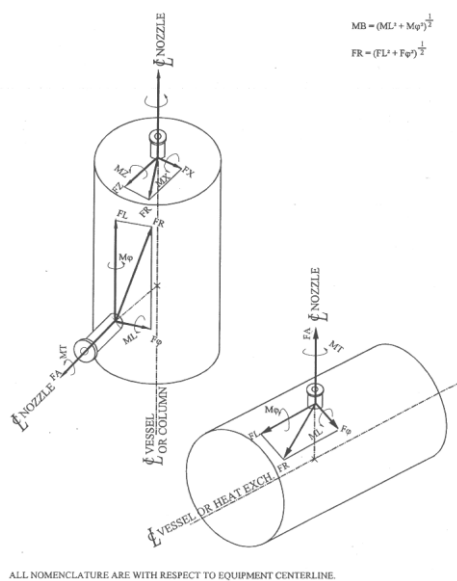
Tabel 2 Nozzle Loads (untuk nozzle A1, nilai “B” = 0,6, “D” = 16)

Lihat Gambar 2 untuk konvensi arah.

No.	Jenis		Besaran
1	Longitudinal bending moment	ML = B.130.D ²	19.968 Nm
2	Circumferential bending moment	M _φ = B.100.D ²	15.360 Nm
3	Torsional moment	Mt = B.150. D ²	23.040 Nm
4	Axial force in plane of flange	FL = B.2000.D	19.200 N
5	Tangential force in plane of flange	F _φ = B.1500.D	14.400 N
6	Radial tension or compression	FA = B.2000.D	19.200 N

Berdasarkan code perancangan bejana tekan ASME VIII-2, beban tekanan internal merupakan beban utama yang menghasilkan stress category primary stress, yang terdiri dari primary membrane dan primary bending

stress. Beban yang menyebabkan *primary stress* ini adalah tekanan, dan salah satunya beban eksternal pada nozzle. Untuk beban tekanan internal, *stress limit* atau *acceptance criteria*, dipakai *Allowable stress*, S_{all} . Sedangkan untuk beban gabungan: tekanan internal dan beban eksternal pada nozzle, *stress limit* dipakai $1,5 * S_{all}$. Pada daerah yang memiliki diskontinuitas, berlaku *local stress* dengan limit stress tersebut $K_t * S_{all}$ dan $1,5 * K_t * S_{all}$. Menurut ASME VIII-2 rev 2007, analisis tegangan menggunakan metode elemen hingga dapat memakai tegangan efektif von Mises sebagai tegangan yang dibandingkan dengan stress limit, yang sebelumnya memakai stress intensity.



Gambar 2 Konvensi arah pembebanan gaya dan moment (Sumber: GS EP PVV 211)

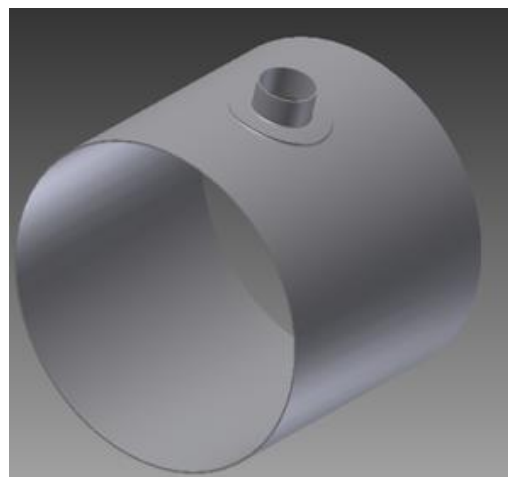
Berdasarkan acuan WRC 107/297, beban eksternal pada *nozzle/attachment* dihitung untuk mendapatkan tegangan gabungan pada keempat posisi kritis. Teori tegangan geser maksimum digunakan untuk kriteria kegagalan tegangan geser maksimum

untuk dibandingkan dengan tegangan geser *yield*. Perhitungan berdasarkan WRC 107/297 tidak memasukkan beban tekanan internal.

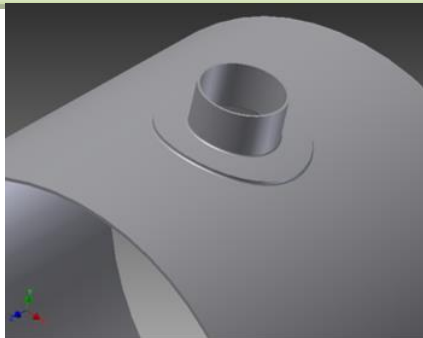
Analisis dilakukan terhadap geometri vessel sesuai desain, sebagai pembanding dari kasus vessel yang memiliki cacat geometri untuk KO Drum no. 43-VZ-3601

Pemodelan geometri sambungan yang tidak sempurna dilakukan berdasarkan informasi sedekat mungkin dengan ilustrasi dari gambar teknik yang tersedia seperti pada Gambar 1 tanpa dilakukan pengukuran yang lebih detail.

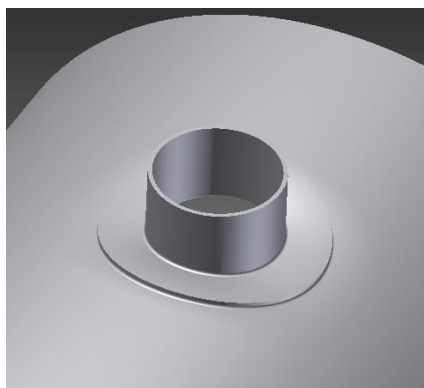
Adapun bejana tekan yang dimodelkan hanya sebagian, guna menunjukkan daerah sambungan dengan nozzle saja. Model *surface a solid* yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 dengan gambar sambungan nozzle yang cacat seperti pada Gambar 5. Pemodelan solid dilakukan dengan menggunakan Autodesk Inventor 2012.



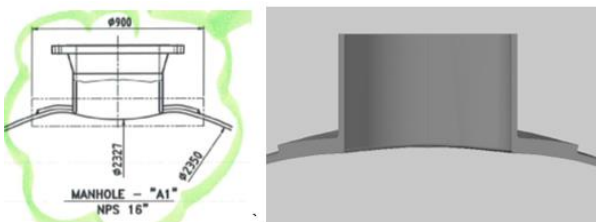
Gambar 3 Model sempurna dari vessel



Gambar 4 Model solid geometri nozzle sempurna



Gambar 5 Model solid geometri nozzle cacat Vent/Flare KO Drum 43-VZ-3601



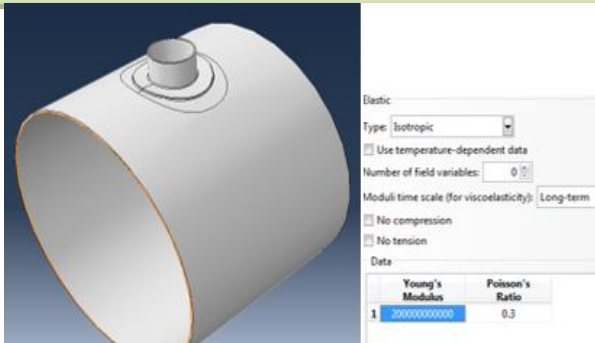
Gambar 6 Perbandingan geometri model geometri cacat dengan kondisi nyata

Tabel 3 Perbandingan dimensi disekitar nozzle antara pemodelan dan pengukuran aktual

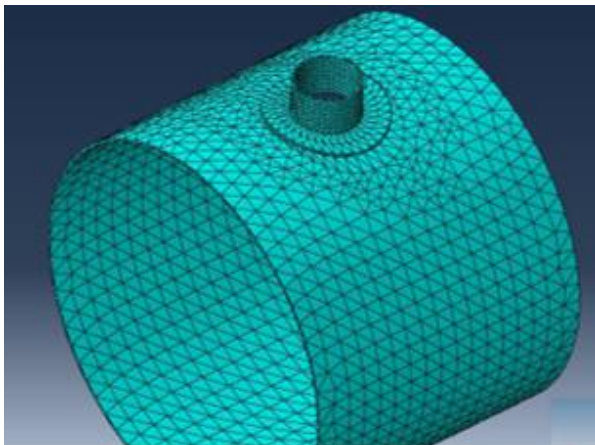
No	Area	43 vz-3601 Nozzle A-1	
		Pengukuran Aktual (mm)	Hasil Pemodelan (mm)
1	Shell	2351	2349,99
2		2350	2349,85
3		2350	2349,51
4		2346	2348,99
5	Pad Nozzle	2346	2348,28
6		2344	2347,39
7		2344	2346,31
8		2343	2345,05
9		2342	2343,60
10		2340	2341,96
11		2340	2340,15

No	Area	43 vz-3601 Nozzle A-1	
		Pengukuran Aktual (mm)	Hasil Pemodelan (mm)
12	Shell	2339	2338,15
13		2337	2335,15
14		2334	2333,60
15		2333	2331,06
16		2333	2328,34
17		2329	
18		2330	
19		2330	
20		2329	
21		2325	
22		2326	
23		2326	
24		2327	
25		2327	
26		2327	
27		2329	
28		2330	
29		2331	
30		2331	
31		2332	
32		2334	
33		2335	
34		2335	
35		2334	
36		2336	2328,34
37		2337	2331,06
38		2337	2333,60
39		2336	2335,96
40		2337	2338,15
41		2337	2340,15
42		2342	2341,96
43		2340	2343,60
44		2340	2345,05
45		2342	2346,31
46		2341	2347,39
47		2342	2348,28
48		2342	2349,51
49		2344	2349,85
50		2344	2349,99

Gambar 6 merupakan perbandingan tampak close up dari nozzle dengan reinforcement pad, mengalami cacat produksi yang menyebabkan penurunan sebesar 23 mm dan 24 mm pada titik tengah pangkal nozzle pada potongan meridional dan pada Gambar 8 menunjukkan meshing otomatis dari Abaqus.



Gambar 7 Input sifat material di software



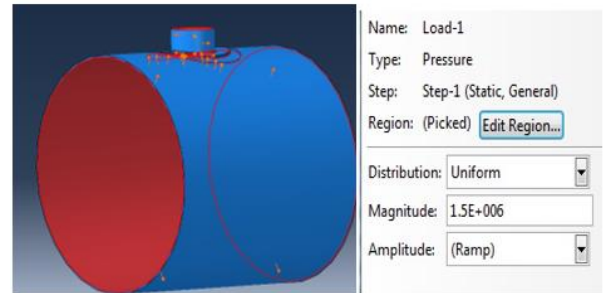
Gambar 8 Model Mesh

Pembebanan dan Kondisi Batas

- Kasus pembebanan terdiri dari tekanan internal dan gabungan antara tekanan internal dengan gaya eksternal pada nozzle. Karena pemodelan dilakukan secara sebagian, maka *Pembebanan eksternal pada nozzle* dilakukan pada muka nozzle yang dimodelkan sebagai rigid surface sehingga efek pembebanan dirasakan pada sambungan seperti terlihat pada Gambar 11

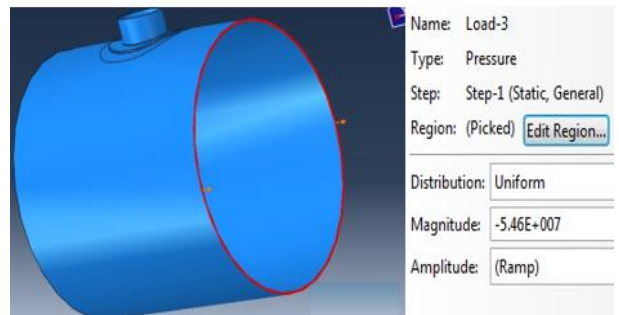
Pembebanan pada bejana dimodifikasi sedemikian sehingga menggambarkan kondisi sebenarnya. Berikut adalah pemodelan beban dan kondisi batas:

- *Tekanan (15 barg)*, dengan arah normal ke luar dinding bagian dalam bejana

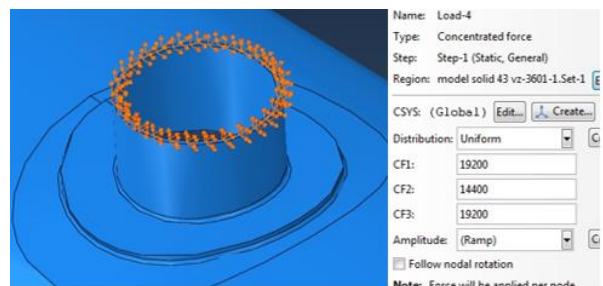


Gambar 9 Pemberian beban tekanan dalam sebesar 15 barg atau 1,5 Mpa

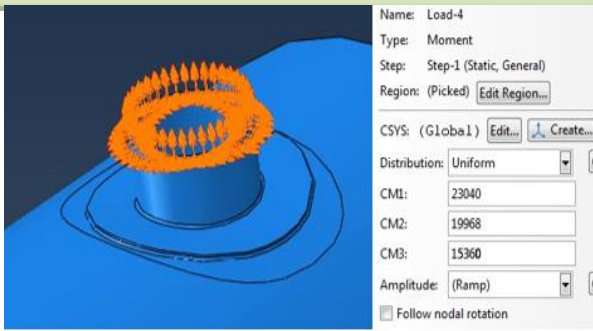
- *Gaya terdistribusi (6.500.000 N)* yang diubah menjadi tekanan merata sebesar 54,6 MPa, pada salah satu sisi tebal bejana secara merata, yang mewakili reaksi dari tutup/head bejana



Gambar 10 Pemberian tekanan merata yang mewakili reaksi dari head bejana

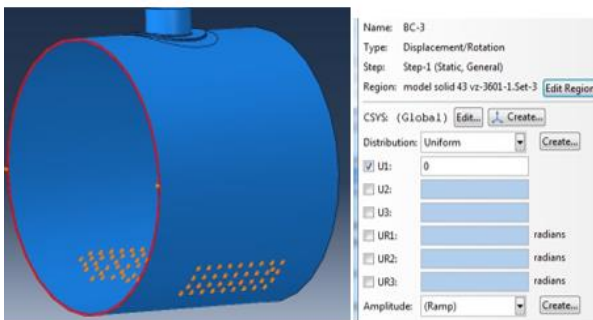


Gambar 11 Pemberian beban berupa gaya eksternal pada nozzle

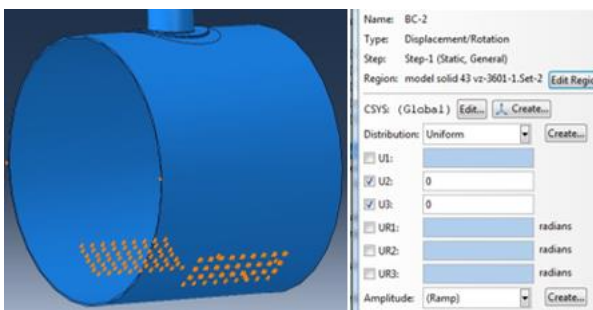


Gambar 12 Pemberian beban berupa momen pada nozzle

- *Kondisi batas longitudinal*, pada sisi tebal yang berlawanan dengan sisi terbebani gaya longitudinal untuk constraint arah-x (longitudinal) seperti pada Gambar 13 dan untuk menahan bejana agar tidak berputar akibat momen dan gaya luar yang bekerja pada nozzle maka pada bagian samping bejana diberi constraint arah-y dan -z seperti terlihat pada Gambar 14.



Gambar 13 Constraint arah-x (longitudinal)



Gambar 14 Bagian samping diberi constrain arah y dan z

Analisis

Hasil analisis elemen hingga dilaporkan untuk masing-masing kasus pembebanan, yaitu tekanan dalam saja, dan gabungan antara beban tekanan dalam dan beban eksternal nozzle.

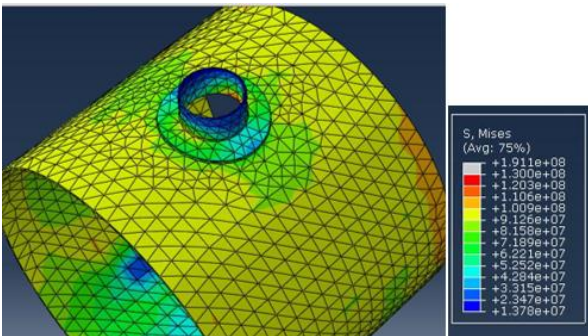
Berdasarkan code perancangan bejana tekan ASME VIII-2, beban tekanan internal merupakan beban utama yang menghasilkan stress category *primary stress*, yang terdiri dari *primary membrane* dan *primary bending stress*. Beban yang menyebabkan *primary stress* ini adalah tekanan dan, salah satunya, beban eksternal pada nozzle. Untuk beban tekanan internal, *stress limit* atau *acceptance criteria*, dipakai *Allowable stress*, S_{all} . Sedangkan untuk beban gabungan: tekanan internal dan beban eksternal pada nozzle, stress limit dipakai $1,5 * S_{all}$. Pada daerah yang memiliki diskontinuitas, berlaku *local stress* dengan limit stress tersebut $K_t * S_{all}$ dan $1,5 * K_t * S_{all}$. Menurut ASME VIII-2 rev 2007, analisis tegangan menggunakan metode elemen hingga dapat memakai tegangan efektif von Mises sebagai tegangan yang dibandingkan dengan stress limit, yang sebelumnya memakai stress intensity. Berdasarkan acuan WRC 107/297, beban eksternal pada nozzle/attachment dihitung untuk mendapatkan tegangan gabungan pada keempat posisi kritis. Teori tegangan geser maksimum digunakan untuk kriteria kegagalan tegangan geser maksimum untuk dibandingkan dengan tegangan geser yield. Perhitungan berdasarkan WRC 107/297 tidak memasukkan beban tekanan internal

Tabel 4 Pedoman analisis tegangan

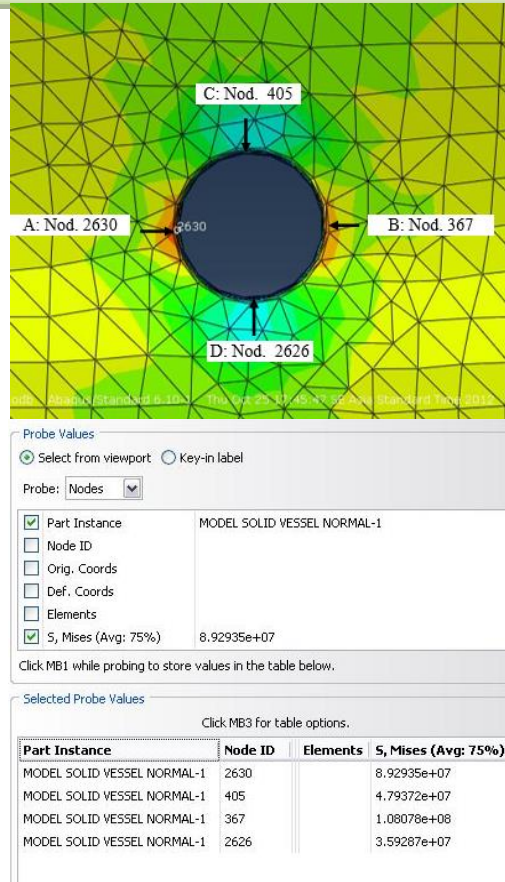
<i>Case of Analysis</i>	<i>Observed Stress</i>	<i>Acceptance criteria</i>
Beban tekanan internal	von Mises	$1,5 * Allowable stress$
Beban gabungan	von Mises	$1,5 * Allowable stress$

Analisis dilakukan untuk dua kasus, yaitu beban tekanan internal dan beban gabungan (tekanan internal dan beban eksternal pada nozzle). Tegangan yang dipakai untuk memonitor adalah tegangan von mises, yang dibandingkan dengan *stress limit* sesuai dengan ASME VIII-2 versi 2007, dengan posisi kritis yang dilaporkan sebagaimana direkomendasikan dalam WRC 107/297. Tabel 4 menjelaskan metode perbandingan analisis tegangan.

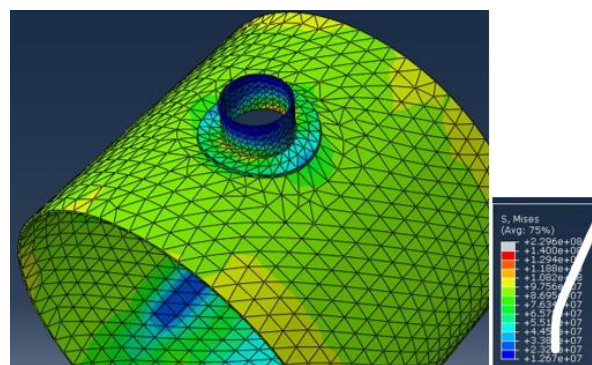
Distribusi Tegangan Akibat Beban Tekanan Dalam (Internal Pressure)



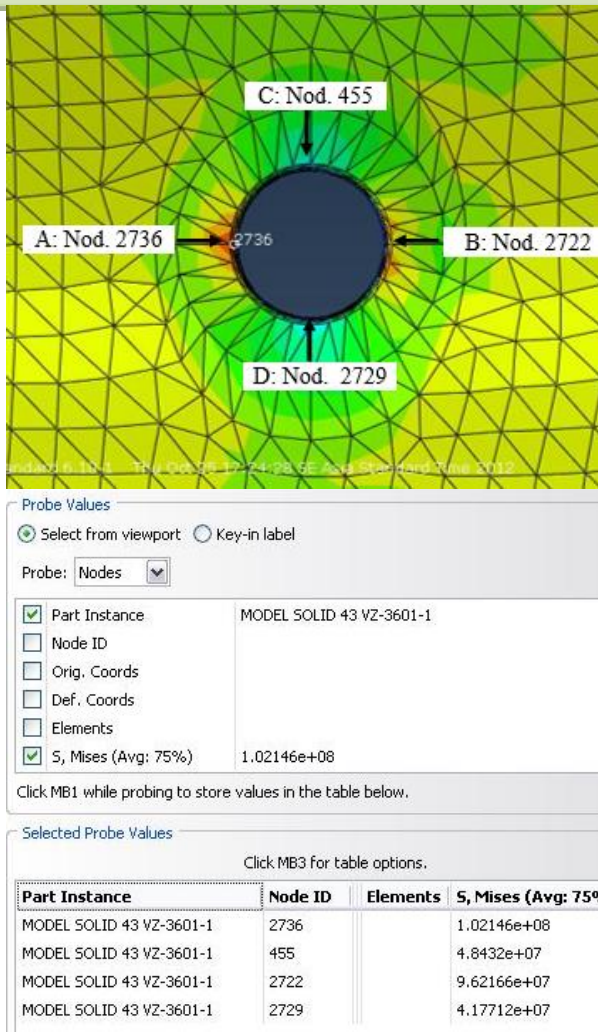
Gambar 15 Distribusi tegangan Von Mises untuk kasus pembebanan tekanan dalam saja pada daerah bejana dan nozzle pada bejana geometri normal



Gambar 16 Distribusi tegangan Von Mises untuk kasus pembebanan tekanan dalam saja pada daerah sambungan nozzle pada bejana “geometri normal” pada lokasi A,B,C, D sesuai Konvensi WRC (dilihat pada bagian dalam)



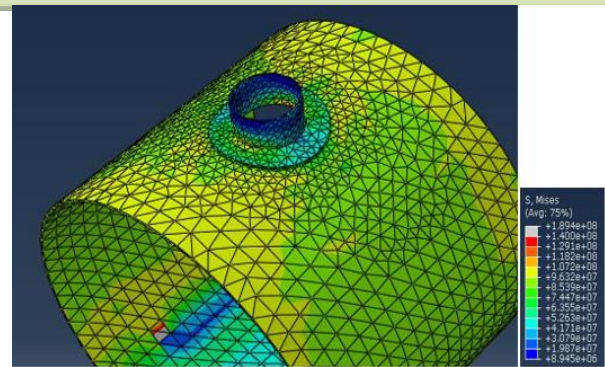
Gambar 17 Distribusi tegangan Von Mises untuk kasus pembebanan tekanan dalam saja pada daerah bejana dan nozzle pada bejana “Vent/Flare KO Drum 43-VZ-3601



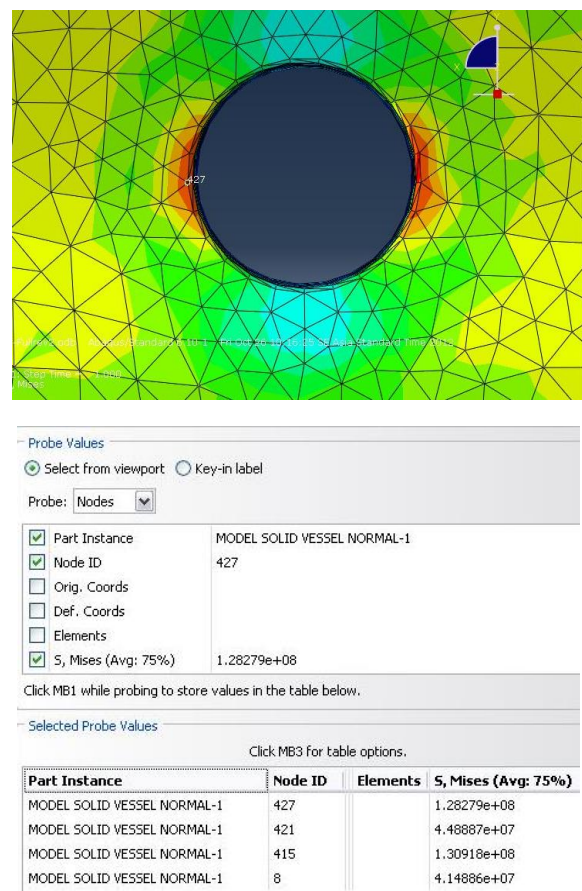
Gambar 18 Distribusi tegangan Von Mises untuk kasus pembebanan tekanan dalam saja pada daerah sambungan nozzle pada bejana “Vent/Flare KO Drum 43-VZ-3601” pada lokasi A, B, C, D sesuai Konvensi WRC (dilihat pada bagian dalam)

Distribusi Tegangan Akibat Beban Gabungan

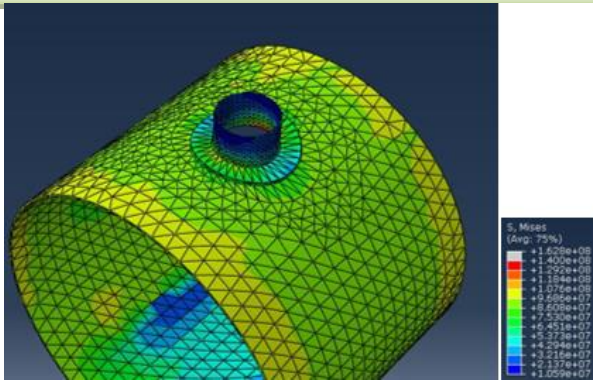
Beban gabungan adalah beban tekanan dalam seperti kasus sebelumnya, ditambah dengan beban-beban luar pada nozzle seperti didefinisikan pada Tabel 2. Dengan beban tambahan ini, batas tegangan adalah $1,5 \cdot S_{all}$, sesuai dengan aturan ASME VIII-2.



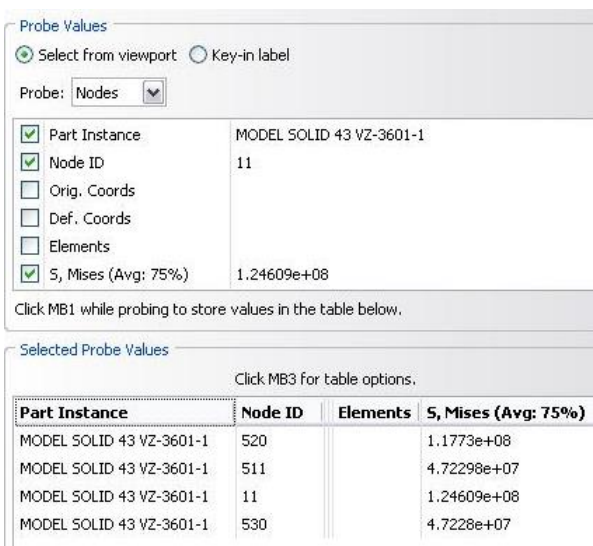
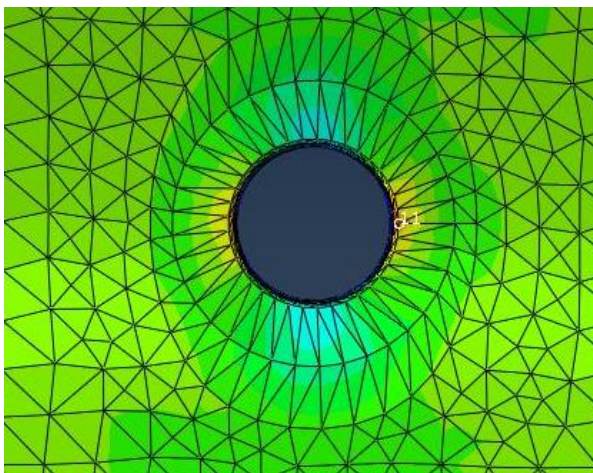
Gambar 19 Distribusi tegangan Von Mises untuk kasus pembebanan gabungan pada daerah bejana dan nozzle pada bejana “geometri normal”



Gambar 20 Distribusi tegangan Von Mises untuk kasus pembebanan gabungan pada daerah sambungan nozzle pada bejana “geometri normal” pada lokasi A, B, C, D sesuai Konvensi WRC (dilihat pada bagian dalam)



Gambar 21 Distribusi tegangan Von Mises untuk kasus pembebanan gabungan pada daerah bejana dan nozzle pada bejana “Vent/Flare KO Drum 43-VZ-3601”



Gambar 22 Distribusi tegangan Von Mises untuk kasus pembebanan gabungan pada daerah sambungan nozzle pada bejana “Vent/Flare KO Drum 43-VZ-3601” pada lokasi A, B, C, D sesuai Konvensi WRC (dilihat pada bagian dalam)

Rangkuman

Tabel 5 Rangkuman hasil analisis elemen hingga

Kasus Pembebanan	Stress limit (MPa)	Geometri Sempurna			Vent/Flare KO Drum 43-VZ-3601		
		Teg. Von Mises (MPa)	SF		Teg. Von Mises (MPa)	SF	
Tekanan dalam ¹	172,5	A ³	89,3	1,93	A ³	102,1	1,69
		B ³	108,1	1,60	B ³	96,2	1,79
		C ³	47,9	3,60	C ³	48,4	3,56
		D ³	35,9	4,81	D ³	41,8	4,13
Beban Gabungan ¹	172,5	A ³	128,3	1,34	A ³	117,7	1,47
		B ³	130,9	1,32	B ³	124,6	1,38
		C ³	44,9	3,84	C ³	47,2	3,65
		D ³	41,5	4,16	D ³	47,2	3,65

Catatan:

- ¹Tegangan yang dilaporkan adalah tegangan Max. Principal, dibandingkan dengan Allowable stress
- ²Tegangan yang dilaporkan adalah tegangan Von Mises, dibandingkan dengan Minimum Specified Yield Strength (ASME II)
- ³ Lokasi sesuai konvensi WRC 107

Kesimpulan

Gambaran efek ketidaksempurnaan geometri akibat produksi terhadap kekuatan bejana tekan diperoleh dengan membandingkan tegangan lokalnya dengan geometri yang sempurna. Analisis tegangan dilakukan terhadap dua kasus pembebanan, yaitu beban tekanan internal dan beban gabungan: tekanan internal dan beban eksternal pada nozzle. Geometri tidak sempurna dimodelkan untuk bejana tekan Vent/Flare KO Drum 43-VZ-3601.

Dari hasil analisis tegangan pada beban tekanan internal, terjadi kenaikan tegangan pada kedua geometri tak sempurna, dengan peningkatan hingga 14,3% pada daerah kritis geometri 43-VZ-3601. Namun demikian, dengan stress limit $1,5 \cdot S_{all}$, kedua geometri tak sempurna masih berada dalam kondisi aman.

Dari hasil analisis tegangan pada beban gabungan, geometri 43-VZ-3601 tidak menunjukkan efek negative dalam kenaikan tegangan. Justru hasil analisis elemen hingga menunjukkan penurunan tegangan di daerah kritis. Rangkuman hasil analisis elemen hingga selengkapnya dapat dilihat pada Tabel

5 untuk keempat lokasi kritis sesuai konvensi WRC. *Stress limit* yang digunakan dalam analisis sini mengacu pada spesifikasi minimum material yang diatur dalam code ASME II. Jika *stress limit* menggunakan data material hasil pengujian, sebagai mana tertera dalam *inspection certificate* Tabel 1, maka kondisi tegangan yang dialami oleh kedua geometri tak sempurna dapat dikatakan aman.

Daftar Pustaka

1. ASME VIII-2 rev 2007, *Boiler and Pressure Vessel Code*
2. ASME II, *Ferrous Material Specification*
3. WRC 107/297, *Vessel Stresses and Nozzle stresses*
4. *Engineering Drawing, Vent/Flare KO Drum 43-VZ-3601, MPO-D243-2*