

## PERANCANGAN DAN ANALISATEGANGAN PADA BEJANA TEKAN HORIZONTAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

<sup>1)</sup>Djoeli Satrijo\* dan <sup>2)</sup>Syarief Afif Habsya

<sup>1)</sup>Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

\*E-mail : [djoelisatrijo@yahoo.com](mailto:djoelisatrijo@yahoo.com)

### ABSTRAK

Dalam merancang bejana tekan, tahap awal yang dilakukan adalah mendefinisikan fungsi bejana tekan tersebut dan juga kapasitas operasi bejana tekan tersebut. Fungsi dan kapasitas akan menentukan dimensi awal bejana tekan tersebut, ditambah dengan tekanan kerjanya, akan dapat menentukan tebal dinding minimal yang akan digunakan untuk konstruksi bejana tekan. Ketebalan awal yang diperoleh setelah disesuaikan dengan tebal plat yang ada di pasaran adalah 3” pada bagian *shell* dan *head*. Setelah itu, pembebanan bejana tekan diberikan sesuai kondisi operasi dari bejana tekan tersebut. Beban yang diberikan antara lain tekanan internal, berat mati bejana tekan. Konsentrasi tegangan dan diskontinuitas tegangan pada bagian lubang dan pada bagian pertemuan *shell* dan *head*. Oleh karena itu, bagian-bagian kritis tersebut perlu mendapatkan perhatian khusus, agar konsentrasi tegangan dan diskontinuitas tegangan yang terjadi tidak mengakibatkan kegagalan pada struktur.

Dari hasil analisa tegangan pada struktur bejana tekan menggunakan software analisa yang berbasis metode elemen hingga, ditemukan nilai tegangan von mises pada bagian kritis bejana tekan. Pada bagian *manway* 13437 psi, 11750 psi pada *inlet* dan 13566 psi pada *drain*, nilai tegangan maksimum tersebut masih dibawah tegangan yang diijinkan, yaitu 15700 psi, maka bejana tekan tersebut telah memenuhi kriteria yang diperlukan, dan layak untuk diproduksi.

**Kata kunci:** *Elektroplating*, tembaga, nikel, waktu, suhu, ketebalan, kekasaran

### PENDAHULUAN

Tegangan yang timbul akibat beban-beban yang ditanggung bejana menjadi sebuah pertimbangan yang penting pada saat merancang bejana tekan. Pemilihan ketebalan dinding misalnya, harus mampu menahan beban tetapi juga harus murah biayanya. Sebab kompleksitas perancangan bejana tekan, badan standarisasi internasional juga mengeluarkan standar-standar yang diharapkan menjadi patokan perancang saat merancang bejana tekan.

Bejana tekan pun memiliki bentuk yang beragam, yang umum antara lain bejana tekan horizontal, vertikal dan sferikal. Lain bentuk lain pula beban-beban yang harus dipertimbangkan. Pemilihan bentuk terserah kepada perancang namun diikuti konsekuensi-konsekuensi yang harus dihadapi karena bentuk yang dipilihnya, misal bejana tekan vertikal terkena beban akibat angin sehingga mengakibatkan momen.

Sebagai mana diketahui bahwa pemanfaatan bejana tekan akhir-akhir ini telah berkembang pesat di berbagai proses industri. Bejana tekan merupakan peralatan teknik yang mengandung resiko bahaya tinggi yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan atau peledakan. Oleh karena berbagai tantangan tersebut, penulis merancang sebuah bejana tekan

horizontal dengan bantuan *software* CAD dan FEM untuk memudahkan dan memahami fenomena yang terjadi pada sebuah bejana tekan, sehingga penulis dapat merancang sebuah bejana tekan yang sesuai dengan kebutuhan.

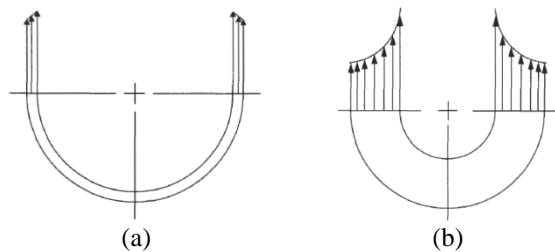
### DASAR TEORI

Bejana tekan (*Pressure Vessel*) merupakan wadah tertutup yang digunakan untuk berbagai macam keperluan dalam dunia industri maupun dalam kehidupan sehari-hari. Bejana tekan dirancang untuk mampu menampung cairan atau gas yang memiliki temperatur atau tekanan yang berbeda dari keadaan lingkungannya.

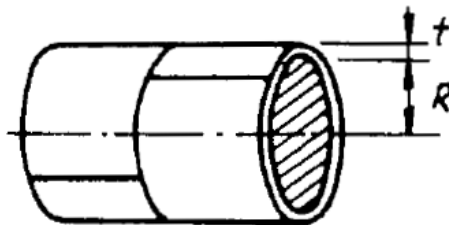


**Gambar 1.** Bejana tekan horizontal

Berdasarkan ukuran tebal dindingnya, bejana tekan terbagi menjadi dua yaitu bejana tekan berdinding tipis dan bejana tekan berdinding tebal. Bejana tekan termasuk berdinding tipis ketika perbandingan tebal dibanding diameternya dibawah 1:10, sedangkan jika diatas perbandingan tersebut maka bejana tekan termasuk berdinding tebal. perbedaan bejana tekan berdinding tipis dan tebal terletak pada tegangan yang terjadi ada dinding bejana, pada bejana tekan berdinding tipis tegangan diperhitungkan hanya pada arah circumferensial dan longitudinal, sedangkan bejana berdinding tekan, tegangan kearah radial juga diperhitungkan. Bejana tekan berdinding tipis bukan berarti tidak mempunyai tegangan kearah radial, tetapi perbedaan tegangan radial antara dinding sebelah dalam dan luar tidak terlalu kentara sehingga diasumsikan sama, sedangkan bejana tekan berdinding tebal distribusi tegangan kearah radial sangat jelas sebab dinding yang begitu tebal maka dari itu perlu untuk diperhitungkan tegangan kearah radialnya. Gambar 2 menunjukkan distribusi tegangan arah radial pada dua jenis bejana.



Gambar 2. (a) Bejana tekan dinding tipis, (b) Bejana tekan dinding tebal.



Gambar 3. Shell

Pada shell berbentuk silinder, tegangan pada arah circumferensialnya dua kali lipat lebih besar dari pada tegangan arah longitudinalnya, sehingga dalam perhitungan untuk mencari ketebalan didasarkan kepada tegangan pada arah circumferensial. Persamaan dalam menentukan tebal bejana tekan berdasarkan diameter dalam dan tekanan internal adalah sebagai berikut.

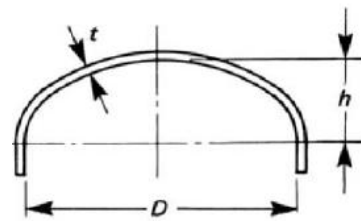
$$t = \frac{Pr}{SE + 0.6P}$$

Dimana,  $t$  = tebal, in  
 $P$  = tekanan internal, psi  
 $r$  = diameter dalam silinder, in  
 $S$  = tegangan yang diijinkan pada material pada suhu tertentu, psi

$E$  = efisiensi sambungan

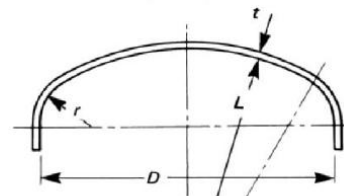
Tipe Head

Rumus perhitungan ketebalan



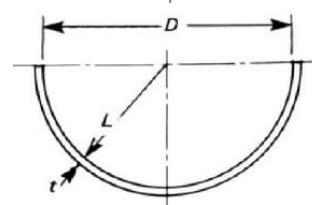
(a) Ellipsoidal

$$\frac{PDK}{2SE - 0.2P}$$



(b) Spherically Dished (Torispherical)

$$\frac{PLM}{2SE - 0.2P}$$



(c) Hemispherical

$$\frac{PR}{2SE - 0.2P}$$

dimana,

- $t$  = tebal, in
- $P$  = tekanan internal, psi
- $S$  = tegangan yang diijinkan pada material dalam suhu tertentu, psi
- $E$  = efisiensi sambungan
- $D$  = diameter dalam, in
- $K$  = Faktor pada ellipsoidal head tergantung pada  $D/2h$
- $M$  = faktor pada torispherical head tergantung pada  $L/r$

### Penentuan Tebal Shell dan Head

Setelah didapat dimensi panjang dan diameter bejana kemudian menentukan tebal minimum silinder. Tebal ini dapat dicari berdasarkan tekanan operasi bejana tekan tersebut melalui persamaan tebal berdasarkan tegangan akibat tekanan internal. Dan tipe head yang dipilih adalah tipe ellipsoidal 2:1. Perhitungan tebal ini menggunakan efisiensi sambungan 1 sebab bejana berisi ammonia, yang bersifat berbahaya jika terjadi kebocoran dan corrosion allowance sebesar 0.125" dengan pertimbangan ammonia sebagai zat yang sangat korosif. Dengan persamaan mencari tebal yang terdapat pada bab sebelumnya didapat tebal awal head dan shell sebesar:

$$t_{shell} = \frac{270 \times 148}{15700 \times 1 - 0.6 \times 270} = 2.7''$$

$$t_{head} = \frac{270 \times 296}{2 \times 15700 \times 1 - 0.2 \times 270} = 2.55''$$

Setelah ditambah dengan *corrosion allowance* tebal *shell* menjadi 2.825'' dan tebal *head* menjadi 2.675''. kemudian disesuaikan dengan tebal plat yang tersedia dipasaran, maka didapat tebal *head* dan *shell* sebesar 3''.

**PEMODELAN GEOMETRI BEJANA TEKAN**

Berdasarkan melalui perhitungan awal untuk menentukan dimensi awal bejana tekan diperoleh spesifikasi awal bejana tekan sebagai berikut:

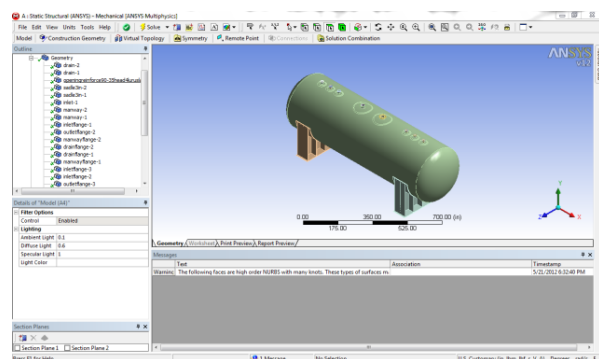
- Kapasitas = 61023744.095 in<sup>3</sup>
- Diameter = 296''
- Panjang = 888''
- Head = 3'' (Elipsoidal 2:1)
- Shell = 3''
- Openings = 24'' 2 buah, 14'' 2 buah, 10.75'' 6 buah
- Flanges = 10 buah (Slip on Class 300)
- Support = 2 sadel, tebal 2''

Setelah dimensi awal bejana didapat dan dimodelkan melalui *SolidWorks 2010*, selanjutnya adalah simulasi bejana dengan menggunakan metode elemen hingga yang dimiliki oleh *ANSYS Workbench 12*. Simulasi dilakukan dengan memberikan beban berupa tekanan operasi bejana tekan dan beban beban lainnya sehingga sesuai atau setidaknya mendekati keadaan operasi bejana tekanan sebenarnya. Sehingga diharapkan memberikan hasil analisa yang mendekati hasil sebenarnya, agar kegagalan yang akan terjadi dapat diperkirakan dan ditanggulangi sebelum akhirnya desain bejana memasuki tahap produksi. Data hasil analisa yang diharapkan adalah

1. Tegangan von Mises
2. Stabilitas struktur (*Linear Buckling*)

**Data Masukan**

Dalam simulasi ini, data masukan yang diperlukan adalah geometri bejana tekan yang telah dihasilkan dalam software CAD, kemudian struktur bejana yang didapat dari pemodelan CAD diberikan data material yang sesuai untuk tiap komponennya, sehingga simulasi mendekati keadaan sebenarnya dari sisi konstruksi bejana tekan.



**Gambar 4.** Model CAD dalam ANSYS Workbench

Pada Gambar 4 terlihat model CAD yang sudah di-*import* kedalam *ANSYS Workbench* untuk proses simulasi. Model sebelumnya sudah disatukan tiap komponen-komponennya menjadi sebuah struktur bejana tekan yang utuh. Dalam software analisa kemudian model diberikan beban untuk kemudian diketahui tegangan yang terjadi pada struktur, beban yang diberikan pun harus mendekati dengan kondisi operasi sebenarnya, sehingga kekuatan bejana tekan desain dapat dipertanggung jawabkan. Sehingga dengan melakukan simulasi yang mendekati kondisi operasi sebenarnya, maka bejana hasil desain dapat dinyatakan layak untuk diproduksi jika lolos tahap simulasi.

**Spesifikasi Material**

Komponen-komponen pada bejana tekan ini dibuat dari material yang berbeda, untuk memenuhi kebutuhan fungsi dari tiap komponen tersebut. Material yang digunakan pada bejana tekan dan komponen yang terkena ammonia harus tahan terhadap korosi yang besar dari ammonia itu, sehingga dipilihlah material yang sesuai. Material tersebut dapat dicari propertisnya pada *ASME (American Society of Mechanical Engineering)*. Data material yang diperoleh kemudian dimasukkan kedalam software analisa sehingga dalam simulasi didapat data yang mendekati keadaan sebenarnya. Data material yang digunakan terdapat pada tabel 4.1.

**Tabel 1.** spesifikasi material komponen bejana tekan

	Dinding bejana Sadel dan pipa	
Jenis material	SS SA240 316L	Structural Steel
Modulus young	2.9 × 10 <sup>7</sup> psi	2.9 × 10 <sup>7</sup> psi
Poison ratio	0.3	0.3
Kekuatan luluh	25000 psi	36259 psi
Kekuatan ultimate	70000 psi	66717 psi

**HASIL**

Setelah simulasi terhadap desain awal bejana tekan dilakukan, didapat data tegangan pada bagian-bagian kritis bejana tekan. Data tegangan ini selanjutnya ditindaklanjuti apakah masih dibawah batas luluh kekuatan material bejana tekan, jika tidak maka dilakukan perbaikan terhadap desain awal bejana tekan.

Ternyata terdapat bagian kritis yang memiliki tegangan sangat tinggi pada bagian opening bejana tekan, data tegangan yang diambil adalah tegangan pada dinding dekat lubang arah longitudinal dan tegangan pada dinding bagian tepi lubang.

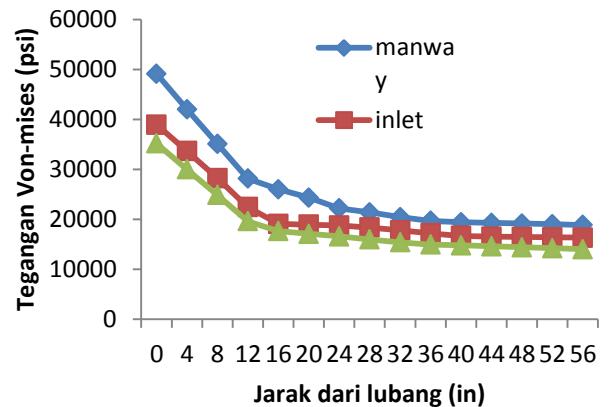
**Tabel 2.** Tegangan pada daerah kritis arah longitudinal

jarak dari lubang	tegangan von-mises (psi)		
	manway	inlet	drain
0	49118	38952	35207
4	42028	33658	30017
8	35097	28257	24871
12	28140	22429	19636
16	25998	19087	17636
20	24343	18923	17088
24	22184	18755	16573
28	21392	18329	15989
32	20438	17794	15403
36	19690	17197	14946
40	19414	16688	14776
44	19288	16506	14589
48	19132	16452	14402
52	19009	16405	14216
56	18848	16322	14023

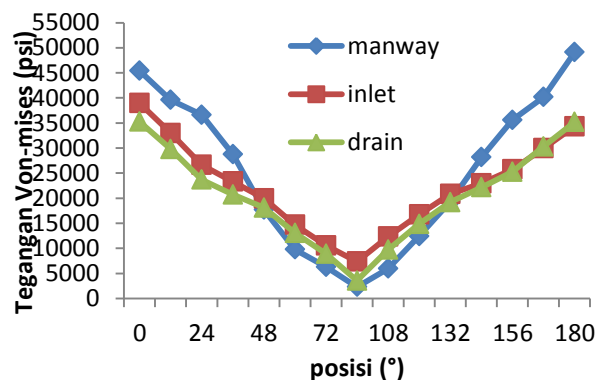
**Tabel 3.** Tegangan daerah kritis pada tepi lubang

posisi	Tegangan von-mises (psi)		
	manway	inlet	drain
0	45424	38952	35260
12	39601	32996	29792
24	36638	26650	23698
36	28786	23318	20739
48	17748	19969	18104
60	9802	14701	13068
72	6306	10591	8916
90	2332	7363	3570
108	5953	12342	9728
120	12424	16754	14874
132	19253	20843	19217
144	28177	22956	22176
156	35622	25737	25259
168	40162	29967	30304
180	49118	34319	35207

Setelah didapatkan data tegangan pada Tabel 4.2 dan 4.3, maka dapat diplotkan grafik tegangan pada bagian kritis bejana tekan terhadap jaraknya pada lubang dan terhadap posisi pada tepi lubang.



**Gambar 5.** Grafik tegangan terhadap jaraknya dari lubang arah longitudinal.



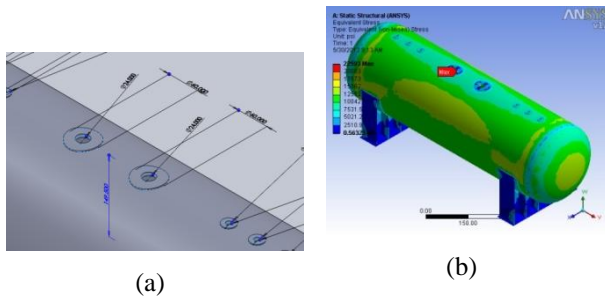
**Gambar 6.** Grafik tegangan terhadap posisi pada tepi lubang

Dari grafik pada Gambar 5 dan 6 dapat ditarik kesimpulan bahwa tegangan tertinggi pada setiap lubang terletak pada bagian tepi arah longitudinalnya, dan semakin jauh dari lubang, tegangannya pun semakin menurun dan akhirnya samadengan tegangan rata-rata dinding bejana tanpa lubang.

### REFINEMENT

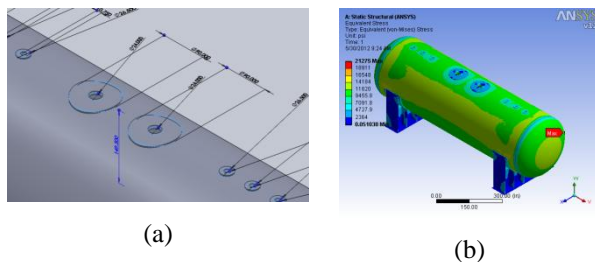
Setelah melalui simulasi awal, didapat bahwa tegangan yang terjadi pada bagian kritis bejana tekan sangatlah tinggi, yaitu maksimalnya mencapai 49118 psi, dimana jauh melampaui kekuatan luluh material bejana yang hanya 25000 psi, oleh karenanya perlu dilakukan perbaikan terhadap desain awal tersebut. Untuk menanggulangi konsentrasi tegangan pada bagian yang berlubang, yang perlu dilakukan adalah pemberian *reinforcement pad* pada daerah sekitar lubang. Persamaan untuk menentukan dimensi

reinforcementpad terdapat pada sebelumnya dapat diterapkan dan dengan ketebalan reinforcementpad sebesar 2” maka diameternya pada manway sebesar 54”, inlet/outlet 26” dan drain sebesar 34”. Maka dilakukan perbaikan desain dengan penambahan reinforcement pad pada dua sisi lubang yaitu dalam dan luar. Selanjutnya dilakukan simulasi kembali dengan desain tersebut.



Gambar 7. a) sketsa perbaikan desain. b) Hasil simulasi dengan Reinforcement Pad diameter 54”

Pada Gambar 7a dan 7b terlihat hasil simulasi dengan desain reinforcement pad. Dari hasil simulasi dengan reinforcement pad tersebut nilai tegangan maksimum pada bejana tekan sebesar 22593 psi, nilai ini masih terlalu besar dengan pertimbangan belum terpasangnya komponen-komponen lain pada bejana tekan, oleh karenanya perlu ditambah besarnya diameter reinforcement pad pada tiap lubang bejana tekan untuk menurunkan lagi konsentrasi tegangan yang terdapat pada sekitar lubang. Setelah berberapa trial and error penambahan diameter reinforcement pad, ditemukan bahwa reinforcement pad dengan diameter 90” (Gambar 4.7a) pada manway merupakan reinforcement pada yang tepat untuk menurunkan konsentrasi tegangan pada daerah sekitar lubang.



Gambar 8. a) sketsa perbaikan desain. b) Hasil simulasi dengan diameter reinforcement pad manway sebesar 90”

Data tegangan setelah diberikan reinforcement pad terdapat pada Tabel 5 dan 6.

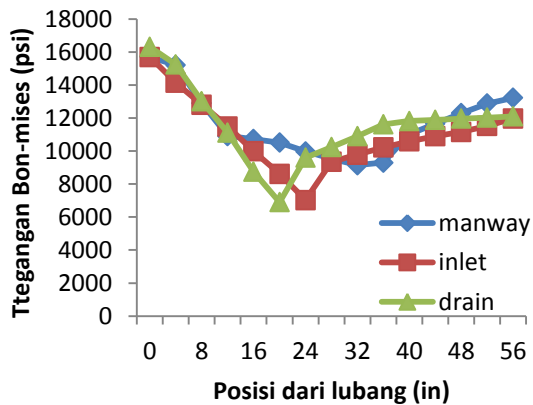
Tabel 4. Tegangan pada daerah lubang arah longitudinal dengan reinforcement pad

jarak dari lubang	tegangan von-mises		
	manway	inlet	drain
0	15710	15695	16309
4	15203	14137	15240
8	12895	12808	13020
12	10905	11491	11109
16	10725	9988	8750
20	10512	8623	6906
24	9979	7034	9603
28	9528	9345	10235
32	9146	9786	10900
36	9301	10215	11615
40	11003	10591	11816
44	11652	10903	11887
48	12299	11159	11966
52	12877	11521	12024
56	13230	11974	12104

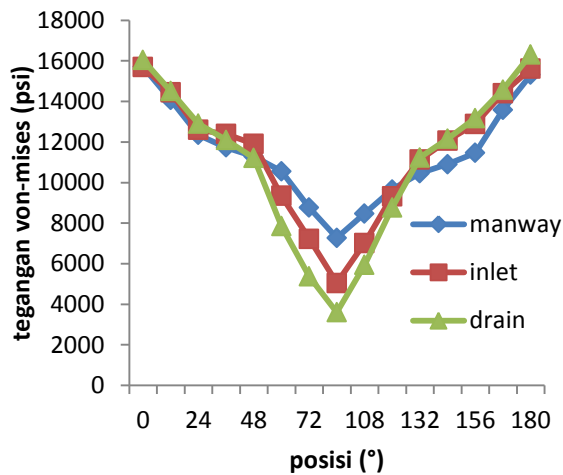
Tabel 5. Tegangan pada daerah tepi lubang dengan reinforcement pad

posisi	tegangan von-mises		
	manway	inlet	drain
0	15710	15695	16039
12	14073	14455	14506
24	12344	12599	12902
36	11734	12398	12100
48	11293	11905	11214
60	10555	9352	7855
72	8764	7229	5369
90	7277	5052	3607
108	8475	7021	5938
120	9659	9325	8764
132	10462	11135	11232
144	10907	12069	12155
156	11465	12895	13175
168	13577	14407	14579
180	15317	15617	16316

Berdasarkan data tersebut, dapat diplot kedalam grafik pada Gambar 9 dan 10 sebagai berikut,

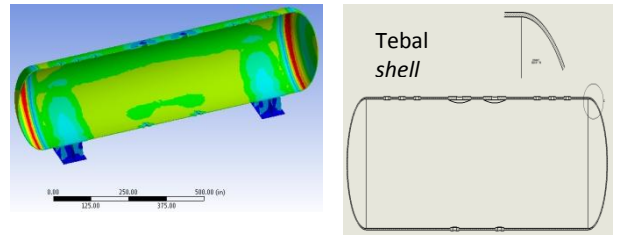


**Gambar 9.** Grafik tegangan pada daerah lubang arah longitudinal dengan *reinforcement pad*



**Gambar 10.** Grafik tegangan pada daerah tepi lubang dengan *reinforcement pad*.

Setelah pemberian *reinforcement pad* ada daerah dengan konsentrasi tegangan tinggi, terbukti tegangan pada daerah tersebut turun, sehingga lebih aman dari kegagalan, tetapi ditemukan masalah selanjutnya, yaitu terjadi diskontinuitas tegangan pada daerah sambungan *shell* dengan *head*. Gambar 4.10 menunjukkan diskontinuitas tegangan pada pertemuan *head* dan *shell*.



**Gambar 11.** a) Diskontinuitas tegangan, b) tebal sambungan *ShellHead*

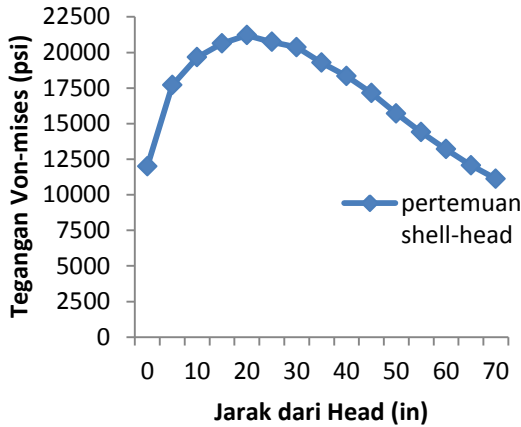
Tegangan yang terdapat pada diskontinuitas daerah pertemuan antara *shell* dengan *head* dapat dilihat pada Tabel 6 dibawah ini,

**Tabel 6.** Diskontinuitas tegangan pada pertemuan *head-shell*

jarak dari <i>shell</i> (in)	tegangan von-mises (psi)
0	11987
5	17704
10	19663
15	20633
20	21206
25	20737
30	20368
35	19275
40	18346
45	17148
50	15711
55	14398
60	13198
65	12062
70	11124

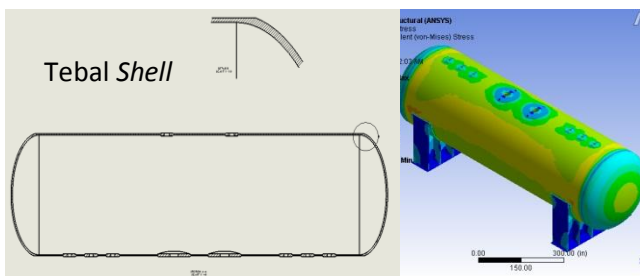
Berdasarkan data tegangan pada tabel diatas, dapat diplot kedalam grafik pada Gambar 4.11 untuk mempermudah melihat distribusinya,





Gambar 12. Grafik diskontinuitas tegangan pada pertemuan head-shell

Dari grafik diatas, terlihat bahwa terdapat diskontinuitas yang besar para sambungan head dengan shell bejana, oleh karenanya perlu perbaikan pada desain pertemuan head dengan shell ini. berdasarkan perhitungan perbedaan defleksi antara shell dengan head, maka ditemukan bahwa tebal head yang sesuai agar tidak terjadi diskontinuitas tegangan yang begitu besar adalah dengan menggunakan tebal head sebesar 4". Maka desain head bejana diperbaiki dan kemudian dianalisa kembali apakah perbaikan desain dapat memperbaiki diskontinuitas tegangan pada bagian tersebut. Setelah simulasi didapatkan data pada Tabel 7 dan Gambar 13 menunjukan perbaikan desain pertemuan shell dan head,

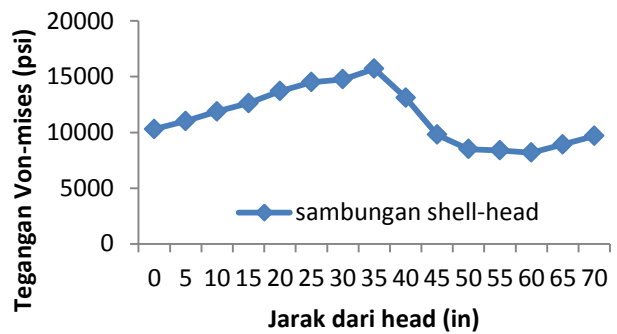


Gambar 13. Bejana tekan hasil simulasi dengan tebal head 4"

Tabel 7. Diskontinuitas tegangan pada Head tebal 4"

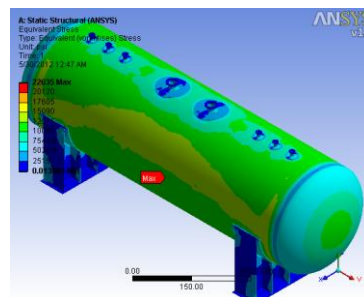
jarak dari shell (in)	tegangan von-mises (psi)
0	10292
5	11008
10	11870
15	12619
20	13699

25	14509
30	14757
35	15712
40	13110
45	9788
50	8499
55	8390
60	8188
65	8918
70	9673



Gambar 14. Grafik tegangan pada sambungan shell-head dengan tebal head 4"

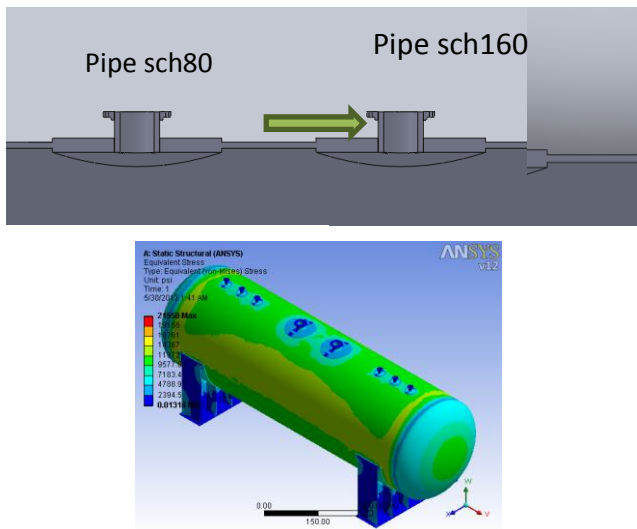
Gambar 14 menunjukan penurunan tegangan pada pertemuan shell dan head. Setelah beberapa perbaikan desain diatas, selanjutnya dilakukan simulasi dengan seluruh komponen bejana seperti pipa pada opening dan juga flanges terpasang total dan dengan pembebanan total dengan seluruh beban yang mungkin terjadi pada bejana saat beroperasi.



Gambar 15. Simulasi dengan komponen lengkap dan pembebanan total

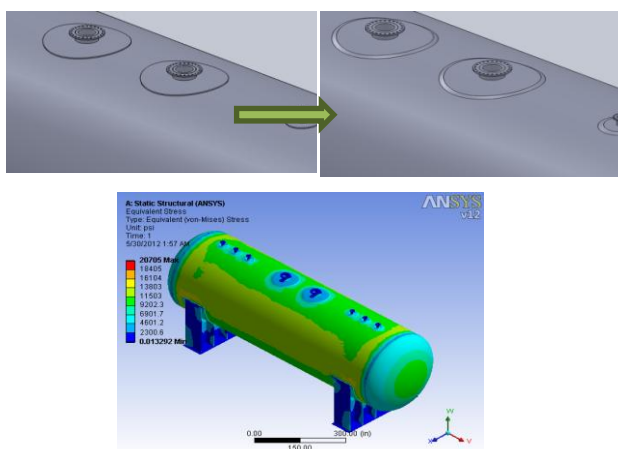
Setelah dilakukan simulasi dengan komponen lengkap dan beban total didapati bahwa konsentrasi tegangan terjadi pada bagian pipa, tegangan maksimal

yang terdapat pada struktur adalah 22635 psi. Maka perbaikan terhadap desain pun dilakukan, yaitu dengan cara mengganti ketebalan *schedule* pipa dengan yang lebih tebal, sehingga kekuatannya terhadap tekanan desain bejana. Dan dilakukan simulasi kembali, dan didapatkan tegangan sebesar 21550 psi. Pada Gambar 16 menunjukkan perubahan *schedule* pipa dari 80 menjadi 160 dan kemudian dilakukan simulasi terhadap desain baru tersebut.



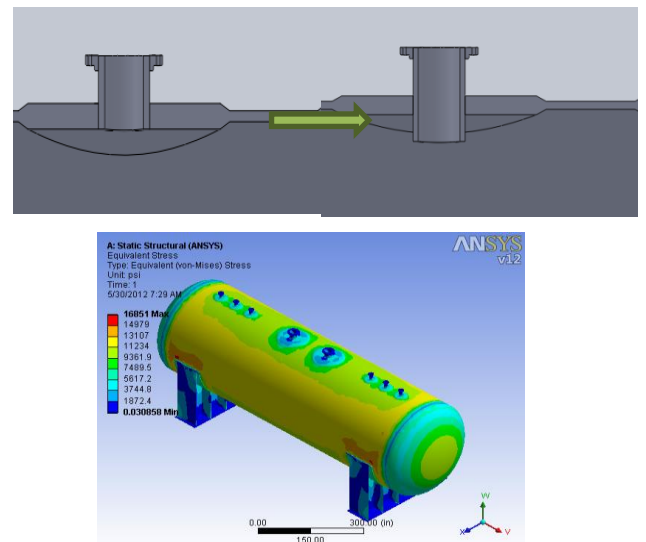
Gambar 16. Simulasi dengan *schedule* pipa lebih besar (sch160)

Kemudian dengan dasar memperbaiki konsentrasi tegangan dibuat fillet pada perbedaan tebal akibat adanya *reinforcement pad*, kemudian disimulasikan kembali desain yang telah diperbaharui ini, lalu didapat tegangan maksimal pada struktur sebesar 20705 psi. Gambar 17 menunjukkan perbaikan desain pada fillet bagian *reinforcement pad* dan kemudian dilakukan simulasi.



Gambar 17. Simulasi dengan perbaikan desain *reinforcement pad*

Dilihat dari lokasi tegangan yang terletak pada tepi pipa dalam arah longitudinal bejana tekan, maka dicoba untuk mengubah desain pipa yang rata dengan permukaan dalam bejana menjadi pipa menonjol didalam bejana, kemudian dilakukan simulasi kembali untuk mengetes tegangan yang terjadi. Pada Gambar 4.17 ditunjukkan perbaikan pada desain perpipaan dan kemudian dilakukan simulasi kembali.



Gambar 18. perbaikan desain perpipaan dan simulasi

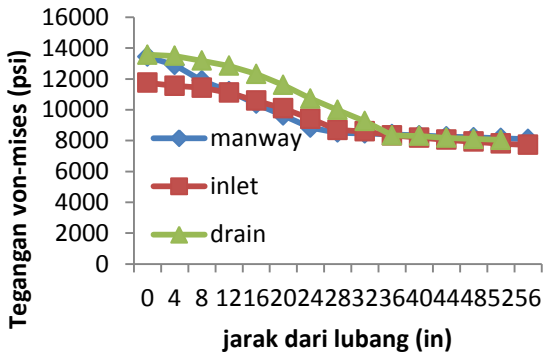
Ternyata dengan mendesain ulang sambungan pipa dengan dinding bejana tekan dapat menurunkan konsentrasi tegangan pada tepi dinding pipa, tegangan maksimal yang terjadi pada dinding pipa turun menjadi 16851 psi. Data tegangan pada bejana tekan dengan desain terbaik terdapat pada Tabel 8 dan diplot kedalam grafik pada Gambar 19.

Tabel 8. Data tegangan desain terbaik

jarak dari lubang (in)	tegangan von-mises (psi)		
	manway	inlet	drain
0	13437	11750	13566
4	12904	11552	13495
8	11895	11429	13180
12	11202	11111	12851
16	10383	10589	12319
20	9625	10091	11604
24	8830	9412	10720
28	8513	8691	9990



32	8460	8590	9255
36	8407	8330	8335
40	8336	8190	8299
44	8260	8057	8179
48	8207	7931	8105
52	8156	7803	8043
56	8099	7724	7982



Gambar 19. Grafik tegangan pada desain terbaik

### KESIMPULAN

Perancangan dan analisa rancangan bejana tekan horizontal menghasilkan spesifikasi dan hasil tegangan sebagai berikut:

- Spesifikasi yang diperoleh dari perhitungan dengan pertimbangan kapasitas, tekanan, temperatur dan fluida kerja saat operasi adalah sebagai berikut:
  - Kapasitas = 61023744.095 in<sup>3</sup>
  - Diameter dalam = 296 "
  - Panjang = 888 "
  - Head = 2:1 Ellipsoidal head, tebal 4"
  - Shell = 3"
  - Opening = Manway 2 x 24", Inlet 3 x 10.75", outlet 3 x 10.75", drain 2 x 14"
  - Flange = tipe slip-on 300lb
  - Lifting lug = 4 buah
  - Sadel = tebal 2"
  - Sambungan = sambungan las tipe butt weld pada dinding bejana, sambungan las tipe fillet weld pada pipa dengan bejana, sadel, flange, lifting lug, dan ladder support.

- Jenis material = SS SA 240 316L untuk dinding dan pipa, Baja karbon SA 105 pada flange
  - Jenis elektroda = E6011
- Dari analisa tegangan yang dilakukan, diperoleh besarnya tegangan pada bagian kritis bejana tekan sebesar 13437 psi pada manway, 11750 psi pada inlet dan 13566 psi pada drain, nilai tegangan maksimum tersebut masih dibawah tegangan yang diijinkan, yaitu 15700 psi.
  - Langkah yang diambil dalam menanggulangi konsentrasi tegangan pada lubang adalah mengganti material yang hilang dengan reinforcement pad pada bagian luar dan dalam dengan tebal masing-masing 2". Selain itu juga terjadi diskontinuitas tegangan pada sambungan head dengan shell, masalah ini diselesaikan dengan memberikan penambahan tebal pada head menjadi 4" agar sesuai besar defleksinya dengan defleksi yang terjadi pada shell.

### REFERENSI

- [1] Bednar, H. Henry. P.E. 1986. *Pressure Vessel Design Handbook*. Krieger Publishing Company. Florida
- [2] Brownell, E. Llyod. Dan Edwin, H. Young. 1959. *Process Equipment Design*. John Willey & Sons. New York.
- [3] Budynas, Richard. G. dan J. Keith Nisbeth. 2011. *Shigley's Mechanical Engineering Design Ninth Ed.* Mc. Graw Hill. New York.
- [4] Cook, Robert Davis. 1981. *Concept and Applications of Finite Element Analysis*. John Willey & Sons. New York.
- [5] Buthod, Paul. Dan Eugene, F. Megyessy. 1995. *Pressure Vessel Handbook*. Pressure Vessel Publishing Inc. Oklahoma.
- [6] Chattopadhyay, Somnath. 2005. *Pressure Vessel Design and Practice*. CRC press.
- [7] Gross, Dietmar. Werner, Hauger. Jorg Schroder. Wolfgang, A. wall. Javier Bonet. 2011. *Engineering Mechanics 2*. Springer. Berlin.
- [8] Moss, R Dennis. 2004. *Pressure Vessel Design manual 3th edition*. Gulf Profesional Publishing. USA.
- [9] Popov, E.P. 1996. *Mekanika Teknik edisi kedua*. Erlangga. Jakarta.
- [10] ASME. 1980. *Rules for Construction of Pressure Vessel Section VIII Division 1*. The American Society of Mechanical Engineers. New York.
- [11] Harsoekoesoemo, H. Darmawan. 2004. *Pengantar Perancangan Teknik*. ITB. Bandung.