



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**PERANCANGAN DAN ANALISA TEGANGAN PADA BEJANA
TEKAN *SPHERICAL* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

TUGAS AKHIR

EKO SUPRIYANTO

L2E 007 030

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

SEMARANG

SEPTEMBER 2012

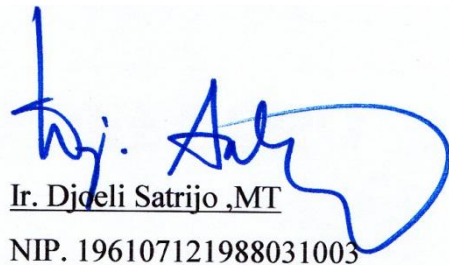
TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nam : Eko Supriyanto
NIM : L2E 007030
Dosen Pembimbing : Ir. Djoeli Satrijo ,MT
Jangka Waktu : 12 (dua belas) bulan
Judul : Perancangan dan Analisa Tegangan Pada Bejana Tekan
Spherical dengan Metode Elemen Hingga
Isi Tugas : Merancangan dan Menganalisa tegangan bejana tekan hasil
rancangan sesuai dengan ASME BPV VIII div 1, kemudian
membuat dokumentasi teknik hasil rancangan.

Semarang, September 2012

Dosen Pembimbing,



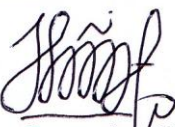
Ir. Djoeli Satrijo ,MT
NIP. 196107121988031003

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Eko Supriyanto

NIM : L2E 007 030

Tanda Tangan : 

Tanggal : September 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Eko Supriyanto

NIM : L2E 007 030

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Perancangan dan Analisa Tegangan Pada Bejana Tekan
Spherical dengan Metode Elemen Hingga

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Ir. Djoeli Satrijo, MT

()

Penguji : Khoiri Rozi, ST, MT

()

Penguji : Dr. Sri Nugroho, ST, MT

()

Penguji : Yusuf Umardani, ST, MT

()

Semarang, September 2012

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Sulardjaka, ST, MT

NIP. 197104201998021001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : EKO SUPRIYANTO
NIM : L2E 007 030
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRIPSI


Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PERANCANGAN DAN ANALISA TEGANGAN PADA BEJANA TEKAN *SPHERICAL* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : September 2012

Yang menyatakan


Eko Supriyanto
NIM. L2E 007 030

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- ❖ Orang tua saya tercinta
- ❖ Seluruh keluarga yang selalu mendukungku
- ❖ Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Angkatan 2007

ABSTRAK

Bejana tekan merupakan salah satu alat proses yang penting dalam industri. Oleh karena itu perancangan bejana tekan sangat kompleks dan dibutuhkan sebuah proses perancangan yang optimal agar bejana tekan yang dihasilkan optimal untuk operasinya dan efisien dalam nilai ekonomis.

Dalam merancang bejana tekan, tahap awal yang dilakukan adalah mendefinisikan fungsi bejana tekan dan kapasitas operasi bejana tekan tersebut. Fungsi dan kapasitas akan menentukan ketebalan bejana tekan. Perancangan awal dimulai dengan menentukan ketebalan awal dinding bejana tekan berdasarkan tekanan internal dan tekanan hidrostatik bejana tekan. Ketebalan awal yang diperoleh setelah disesuaikan dengan tebal plat yang ada di pasaran adalah 1.75” untuk bagian atas dan 1.875” untuk bagian bawah. Setelah itu, pembebanan bejana tekan diberikan sesuai kondisi operasi dari bejana tekan tersebut. Beban yang diberikan antara lain tekanan internal, berat mati bejana tekan, tekanan hidrostatik dan tekanan akibat angin, momen pada *flange* dan beban akibat komponen bejana tekan. Konsentrasi tegangan dan diskontinuitas tegangan pada bagian lubang dan pada bagian pertemuan perbedaan ketebalan *shell*. 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* 16.201 psi, 16295 psi pada *inlet* dan 16155 psi pada *drain*, nilai tegangan maksimum tersebut masih dibawah tegangan yang diijinkan, yaitu 17.500 psi, maka bejana tekan tersebut telah memenuhi kriteria yang diperlukan, dan layak untuk diproduksi.

Kata kunci: bejana tekan, tegangan, metode elemen hingga.

ABSTRACT

Pressure vessel is an important tool in the industrial process, therefore it must be done in an optimal design, both in the safety factor as well as economic value.

In designing a pressure vessel, it is necessary to know the function and capacity of the pressure vessel. Function and capacity would determining the thickness of the pressure vessel. Preliminary design begun by determining the initial wall thickness of pressure vessels under internal pressure and hydrostatic pressure. Thickness of pressure vessels were selected according to the initial internal and hydrostatic pressure was 1.75" at the top and 1.875" at the bottom shell. After the thickness was known, the loading on pressure vessel was given in accordance with operating conditions of the pressure vessel. Given load, among others, internal pressure, hydrostatic pressure, pressure due to wind, the moment of the flange and the burden of pressure vessel components and its dead weight. Stress concentration and discontinuity of stress would appear in a critical section of the pressure vessel such as opening and the meeting of differences in the thickness of the shell. Therefore, reinforcement was needed to reduce stress concentration and discontinuity of stress so that the proper pressure vessels designed to be used.

From the analysis of stress in pressure vessels with the help of software based on finite element method, the maximum von-mises stress values was obtained on critical parts of the pressure vessel. The von-mises stress at the manway is 16.201 psi, 16.295 psi at inlet and 16.155 psi at the drain of pressure vessel. With stress permissible magnitude was 17.500 psi, the pressure vessel has met the necessary criteria and the pressure vessel was feasible to operate.

Keywords: pressure vessel, finite element method, stress

KATA PENGANTAR

Puji syukur Kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “PERANCANGAN DAN ANALISA TEGANGAN PADA BEJANA TEKAN *SPHERICAL* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA”.Laporan Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu tugas dan syarat untuk memperoleh gelar Strata-1 (S-1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Djoeli Satrijo, MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
2. Kepada Orang Tua saya tercinta, juga segenap saudara-saudara saya.
3. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Angkatan 2007.
4. Semua pihak yang berhubungan langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam penulisan laporan.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi isi maupun cara penyusunannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca demi kesempurnaan laporan ini.

Semarang, September 2012

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
TUGAS AKHIR.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
NOMENKLATUR.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Pembatasan Masalah.....	2
1.5 Metode Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Konsep Perancangan Produk.....	5
2.2 Definsi Bejana Tekan	7
2.3 Komponen Bejana Tekan	8

2.3.1	<i>Shell</i>	9
2.3.2	<i>Opening</i>	10
2.3.3	Nosel.....	12
2.3.4	<i>Flanges</i>	12
2.3.5	Sadel	15
2.4	Beban pada Bejana Tekan	15
2.4.1	Tekanan Desain	16
2.4.2	Temperatur Desain	17
2.4.3	Beban Mati	17
2.4.4	Beban Angin.....	17
2.4.5	Beban Gempa Bumi.....	18
2.5	Tegangan pada Bejana Tekan.....	18
2.6	Teori Kegagalan	19
2.6.1	Teori Tegangan Normal Maksimum	19
2.6.2	Teori Tegangan Geser Maksimum	20
2.6.3	Teori Distorsi Energi	21
2.7	Metode Elemen Hingga.....	22
2.7.1	Definisi	22
2.7.2	Geometri Elemen	24
BAB III PERANCANGAN BEJANA TEKAN		
3.1	Bagan Perancangan Bejana Tekan	26
3.2	Penentuan Geometri Bejana Tekan	27
3.2.1	Penentuan Dimensi Awal Bejana Tekan	27
3.2.2	Penentuan Tebal <i>Shell</i>	28
3.2.3	Penentuan Dimensi Pipa-pipa.....	32
3.3	Pemodelan Geometri Bejana Tekan	33
3.3.1	Pemodelan <i>Shell</i>	34
3.3.2	Pemodelan <i>Openings</i>	36
3.3.3	Pemodelan Sadel.....	36

3.3.4	Pemodelan Pipa-pipa	38
3.3.5	Pemodelan <i>Flanges</i>	38
3.3.6	<i>Assembly</i> Komponen Bejana Tekan	39
3.4	Simulasi Pembebanan pada Bejana Tekan	40
3.4.1	Import Model CAD pada Software Analisa	41
3.4.2	<i>Preprocessing</i>	41
3.4.3	<i>Solution</i>	42
3.4.4	<i>Postprocessing</i>	47
BAB IV ANALISA		
4.1	Pengantar	49
4.2	Data Masukan	51
4.2.1	Spesifikasi Material	52
4.2.2	Nodal dan Elemen	53
4.3	Pembebanan Bejana Tekan.....	53
4.4	Hasil.....	54
4.5	<i>Refinement</i>	60
4.6	Pembahasan	73
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan.....	76
5.2	Saran	77
DAFTAR PUSTAKA		78
LAMPIRAN A Tabel.....		79
LAMPIRAN B Kasus Sederhana.....		81
LAMPIRAN C Simulasi Pemasangan ladder Support		89
LAMPIRAN D Dokumentasi Teknik		91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram alir perancangan	6
Gambar 2.2	Distribusi tegangan (a) Bejana tekan dinding tipis, (b) Bejana tekan dinding tebal	7
Gambar 2.3	Bejana tekan <i>spherical</i>	8
Gambar 2.4	<i>Spherical shell</i>	9
Gambar 2.5	Skema <i>reinforcement pad</i>	11
Gambar 2.6	(a) slip-on <i>flange</i> , (b) weld-neck <i>flange</i> , (c) blind <i>flange</i> , (d) Lap-joint <i>flange</i>	13
Gambar 2.7	Dimensi Slip-on <i>flange</i> untuk perhitungan momen	13
Gambar 2.8	Tipe sadel <i>spherical vessel</i>	15
Gambar 2.9	Diagram benda bebas bejana tekan	18
Gambar 2.10	Grafik Teori Tegangan Normal Maksimum	20
Gambar 2.11	Grafik perbandingan teori tegangan geser maksimum dengan teori distorsi energi	21
Gambar 2.12	Masalah struktur a) model struktur, b) Pemodelan elemen hingga...	23
Gambar 3.1	Diagram alir proses perancangan bejana tekan.....	26
Gambar 3.2	Pemotongan melintang bejana tekan.....	29
Gambar 3.3	Diagram benda bebas bejana tekan	30
Gambar 3.4	Pengaturan satuan SolidWorks 2010	34
Gambar 3.5	Sketsa dinding bejana.....	34
Gambar 3.6	<i>Revolve</i> untuk membentuk <i>shell</i>	35
Gambar 3.7	Model bejana tekan	35
Gambar 3.8	Pembuatan <i>openings</i>	36
Gambar 3.9	<i>Padding ring</i>	37
Gambar 3.10	Sadel <i>spherical vessel</i>	37
Gambar 3.11	Pemodelan pipa	38

Gambar 3.12	Sketsa dan hasil <i>revolve</i> untuk <i>flanges</i>	38
Gambar 3.13	Fungsi <i>circular patern</i> untuk memperbanyak lubang secara melingkar.....	39
Gambar 3.14	<i>Assembly</i> komponen bejana tekan.....	39
Gambar 3.15	Jendela awal <i>ANSYS Workbench 12</i>	41
Gambar 3.16	<i>Meshing</i> pada bejana tekan	42
Gambar 3.17	Pemberian beban tekanan internal pada permukaan dalam bejana ...	43
Gambar 3.18	Pemberian <i>constrain</i> pada tapak sadel	43
Gambar 3.19	Pemberian momen pada permukaan <i>flange</i>	44
Gambar 3.20	Pemberian percepatan gravitasi.....	44
Gambar 3.21	Pengaturan beban akibat tekanan hidrostatik	45
Gambar 3.22	Pengaturan beban akibat beban angin	46
Gambar 3.23	Pengaturan untuk analisa kestabilan struktur	46
Gambar 3.24	Pengaturan simulasi <i>linear buckling</i>	47
Gambar 3.25	Hasil simulasi berupa tegangan von-mises	48
Gambar 4.1	Diagram alir proses perbaikan desain bejana tekan	50
Gambar 4.2	Model CAD dalam <i>ANSYS Workbench</i>	51
Gambar 4.3	Daerah kritis pada bejana tekan <i>spherical</i>	53
Gambar 4.4	Hasil simulasi desain awal bejana tekan	55
Gambar 4.5	Bejana tekan hasil simulasi setelah <i>refinement</i>	56
Gambar 4.6	Jarak lubang arah latitudinal	56
Gambar 4.7	Jarak tepi lubang dengan variasi θ	57
Gambar 4.8	Grafik tegangan terhadap jaraknya dari lubang arah latitudinal	59
Gambar 4.9	Grafik tegangan terhadap posisi pada tepi lubang	60
Gambar 4.10	a) sketsa perbaikan desain, b) hasil simulasi dengan <i>reinforcement pad</i>	61
Gambar 4.11	Grafik tegangan terhadap jaraknya dari lubang arah latitudinal	63
Gambar 4.12	Grafik tegangan pada daerah tepi lubang.....	64
Gambar 4.13	Simulasi dengan komponen lengkap dan pembebanan total.....	64

Gambar 4.14	Simulasi dengan <i>schedule</i> pipa lebih besar (sch140).....	65
Gambar 4.15	Simulasi dengan perbaikan desain <i>reinforcement pad</i>	66
Gambar 4.16	Perbaikan desain perpipaan dan simulasi.....	67
Gambar 4.17	Grafik tegangan pada desain terbaik.....	68
Gambar 4.18	Simulasi pengujian tekanan hidrostatis akibat pengisian air.....	69
Gambar 4.19	Grafik tegangan pada pengujian hidrotetes.....	70
Gambar 4.20	Simulasi pembebanan tekanan internal 1.5 kali tekanan desain.....	71
Gambar 4.21	Grafik tegangan simulasi beban 1.5 kali tekanan internal.....	72
Gambar 4.22	Simulasi pengujian <i>buckling</i> pada struktur bejana.....	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perhitungan geometri <i>reinforcement pad</i>	11
Tabel 2.2	Rumus perhitungan momen <i>flange slip on</i>	14
Tabel 2.3	Tipe elemen dalam metode elemen hingga.....	24
Tabel 3.1	Perhitungan tegangan dari berbagai sudut variasi dengan tebal 1.75”	31
Tabel 3.2	Hasil Perhitungan tegangan dari berbagai sudut variasi dengan tebal 1.875”	32
Tabel 3.3	Dimensi <i>flange</i>	40
Tabel 3.4	Beban momen pada tiap <i>flange</i>	40
Tabel 4.1	Spesifikasi material komponen bejana tekan.....	52
Tabel 4.2	Komposisi Material Baja Karbon SA 516 Grade 70	52
Tabel 4.3	Tegangan pada daerah kritis arah latitudinal	57
Tabel 4.4	Tegangan daerah kritis pada tepi lubang	58
Tabel 4.5	Tegangan pada daerah kritis arah latitudinal dengan <i>reinforcement pad</i>	61
Tabel 4.6	Tegangan pada daerah tepi lubang dengan <i>reinforcement pad</i>	62
Tabel 4.7	Data tegangan desain terbaik	67
Tabel 4.8	Data tegangan akibat pengujian hidrotas	69
Tabel 4.9	Tegangan pada bagian kritis pembebanan 1.5 kali tekanan desain	71

NOMENKLATUR

Simbul	Besaran	Satuan
A	Luas permukaan	[in ²]
A_1	Luas yang terdapat pada <i>shell</i>	[in ²]
A_2	Luas yang terdapat pada nosel	[in ²]
A_{21}	Luas pengelasan	[in ²]
A_3	Luas <i>reinforcement pad</i>	[in ²]
A_{42}	Luas pada pengelasan	[in ²]
b	Lebar efektif gasket	[in]
B	Diameter dalam <i>flange</i>	[in]
C	Diameter antara baut	[in]
d	Diameter nosel	[in]
D_i	Diameter dalam	[in]
D_o	Diameter luar	[in]
D_p	Diameter luar <i>reinforcement pad</i>	[in]
E	Efisiensi sambungan	[-]
f_r	Faktor reduksi kekuatan	[-]
g_1	Tebal hub pada <i>flange</i>	[in]
G	Diameter reaksi beban gasket	[in]
h_D	Jarak radial	[in]
h_G	Jarak radial	[in]
h_T	Jarak radial	[in]
H	Beban akibat hidrostatis	[lbf]
H_D	Beban akibat gaya dalam <i>flange</i>	[lbf]
H_G	Beban gasket	[lbf]
H_P	Beban tekan total permukaan kontak sambungan	[lbf]
H_T	Beban akibat tekanan pada permukaan <i>flange</i>	[lbf]

m	Faktor gasket	[-]
M	Momen	[lbf.in]
M_o	Momen total operasi pada <i>flange</i>	[lbf.in]
M_D	Momen akibat gaya dalam pada <i>flange</i>	[lbf.in]
M_G	momen akibat beban pada gasket	[lbf.in]
M_T	Momen akibat tekanan pada permukaan <i>flange</i>	[lbf.in]
P	Tekanan	[psi]
P_a	Tegangan eksternal yang diijinkan	[psi]
P_w	Tekanan akibat angin	[psi]
R	Jarak radial	[in]
R_i	radius dalam	[in]
R_o	radius luar	[in]
S	Tegangan maksimum yang diijinkan	[psi]
S_{SY}	Kekuatan luluh geser	[psi]
S_y	Kekuatan luluh	[psi]
t	Tebal <i>shell</i> yang digunakan	[in]
t_r	Tebal <i>shell</i> yang dibutuhkan	[in]
t_n	Tebal nosel yang digunakan	[in]
t_m	Tebal nosel yang dibutuhkan	[in]
V_w	kecepatan angin	[mil/jam]
σ	Tegangan Normal	[psi]
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Tegangan principal	[psi]
σ_{max}	Tegangan maksimum	[psi]
σ_{min}	Tegangan minimum	[psi]
σ_ϕ	Tegangan meridional	[psi]
σ_t	Tegangan latitudinal	[psi]
τ	Tegangan geser	[psi]
τ_{max}	Tegangan geser maksimum	[psi]