



UNIVERSITAS DIPONEGORO

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

TUGAS AKHIR

JOKO PURNOMO

L2E 007 052

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

SEMARANG

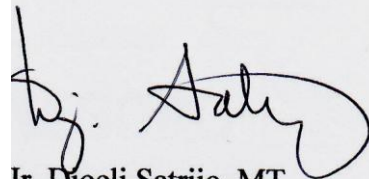
MARET 2012

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Joko Purnomo
NIM : L2E 007 052
Pembimbing : Ir. Djoeli Satrijo, MT.
Jangka Waktu : 12 (dua belas) bulan
Judul : Perancangan dan Analisa Tegangan pada Bejana Tekan Vertikal dengan Metode Elemen Hingga
Isi Tugas : Melakukan perancangan bejana tekan dengan ketentuan *ASME BPV Section VII Div I* dan menganalisa tegangan yang timbul pada bagian kritis bejana tekan tersebut.

Dosen Pembimbing,



Ir. Djoeli Satrijo, MT.

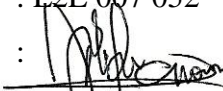
NIP. 196107121988031003

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 : Joko Purnomo

NIM : L2E 007 052

Tanda Tangan : 

Tanggal : 16 Maret 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : Joko Purnomo
NIM : L2E 007 052
Jurusan : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Perancangan dan Analisa Tegangan pada Bejana Tekan Vertikal 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.

()

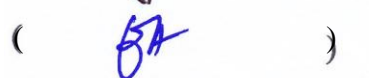
Penguji : Ir. Dwi Basuki Wibowo, MS.

()

Penguji : Dr. Sri Nugroho, ST, MT.

()

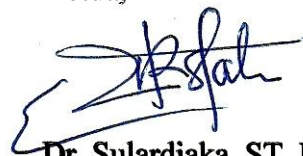
Penguji : Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fajar TK. (

)

Semarang, Maret 2012

Jurusan Teknik Mesin

Ketua,



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 : Joko Purnomo
NIM : L2E 007 052
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir

demikian 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 VERTIKAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA”

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/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 : 16 Maret 2012

Yang menyatakan



(Joko Purnomo)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk:

- ✚ Bapak dan Ibu tercinta yang selalu memberikan do'a dan dukungan baik moril maupun material, semoga Kalian bahagia dan bangga.
- ✚ Adik dan kakak perempuanku yang menjadi motivasi dalam hidupku.
- ✚ Seluruh keluargaku tersayang dan teman-teman, terima kasih atas dukungannya.

ABSTRAK

Bejana tekan merupakan suatu alat proses yang penting dalam industri, oleh karena itu perancangan harus dilakukan secara optimal, baik dalam faktor keselamatan maupun nilai ekonomis.

Dalam merancang suatu bejana tekan, hal yang perlu diketahui yaitu fungsi dan kapasitas dari 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 ketahanan terhadap tekanan eksternal. Ketebalan bejana tekan awal yang dipilih sesuai tekanan internal yaitu 0.437" pada *shell* dan *head*. Setelah ketebalan diketahui, pembebanan pada bejana tekan diberikan sesuai dengan kondisi operasi dari bejana tekan tersebut. Beban yang diberikan antara lain, tekanan internal, tekanan akibat angin, momen pada *flange* dan beban akibat komponen bejana tekan. Konsentrasi tegangan akan muncul pada bagian kritis dari bejana tekan seperti, *opening* dan pertemuan penopang dengan dinding bejana. Oleh karena itu penebalan sekitar bagian tersebut diperlukan untuk mengurangi konsentrasi tegangan sehingga bejana tekan yang dirancang layak untuk digunakan.

Dari hasil analisa tegangan pada bejana tekan dengan bantuan *software* yang berbasis pada metode elemen hingga, diperoleh nilai tegangan *von-misses* maksimum pada bagian-bagian kritis bejana tekan. Pada posisi 1, 2, 3, diketahui besarnya tegangan adalah 17009, 12559, 13733 psi, dan pada posisi 4,5,6, dan 7 adalah 16174, 15642, 11207, dan 13195 psi. Dengan besarnya tegangan ijin yang ditentukan adalah 17500 psi, maka bejana tekan tersebut telah memenuhi criteria yang diperlukan sehingga bejana tekan tersebut layak untuk beroperasi.

Kata kunci: bejana tekan, metode elemen hingga, tegangan

ABSTRACT

Pressure vessels 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 was 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 resistance to external pressure. Thickness of pressure vessels were selected according to the initial internal pressure was 0437" at the shell and head. After the thickness was known, the loading on the pressure vessel was given in accordance with operating conditions of the pressure vessel. Given load, among others, internal pressure, pressure due to wind, the moment of the flange and the burden of pressure vessel components. Stress concentration would appear in a critical section of pressure vessels such as, opening and sustaining a meeting with the vessel wall. Therefore, reinforcement was need to reduce stress concentration 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-misses stress values was obtained on critical parts of the pressure vessel. At positions 1, 2, 3, the stress values was 17009, 12559, 13733 psi, and at positions 4,5,6, and 7 was 16174, 15642, 11207 and 13195 psi. With the stress permissible magnitude was 17 500 psi, the pressure vessel has met the necessary criteria to pressure vessels was feasible to operate.

Keywords : prseesure vessel, finite element method, stress

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT., yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul “Perancangan dan Analisa Tegangan pada Bejana Tekan Vertikal dengan Metode Elemen Hingga” ini dapat diselesaikan.

Tugas akhir ini bertujuan untuk merancang suatu bejana tekan vertikal dan menganalisa tegangan yang timbul pada bejana tekan tersebut akibat pembebanan yang diberikan.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Djoeli Satrijo, MT., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
2. Bapak Ir. Dwi Basuki Wibowo, MS., Dr. Sri Nugroho, ST, MT., dan Dr. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK., selaku dosen penguji Tugas Akhir.
3. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih sangat jauh dari sempurna, karena itu saran dan kritik demi perbaikan penulisan Tugas Akhir ini sangat penulis harapkan. Semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat.

Semarang, Maret 2012

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TUGAS SARJANA	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
NOMENKLATUR.....	xvi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metode Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
II. DASAR TEORI	
2.1 Perancangan Produk.....	5
2.1.1 Pendahuluan Perancangan.....	5
2.1.2 Perancangan dan Gambar Teknik	5
2.1.3 Fase Dalam Perancangan	6
2.2 Definisi Bejana Tekan.....	8
2.2.1 Definisi Bejana Tekan.....	8
2.2.2 Analisa Tegangan pada Bejana Tekan	10
2.3 Analisa Kegagalan	12

2.4 Perancangan Bejana Tekan	14
2.4.1 Dasar Perancangan Bejana Tekan.....	14
2.4.2 Tekanan Desain.....	15
2.4.3 Temperatur Desain.....	15
2.4.4 Beban yang diterima pada Bejana Tekan.....	16
2.4.4.1 Beban Mati.....	16
2.4.4.2 Beban Angin	16
2.4.4.3 Beban Gempa.....	17
2.4.5 Pengelasan pada Bejana Tekan	18
2.5 Komponen Utama pada Bejana Tekan	18
2.5.1 <i>Shell</i>	19
2.5.2 <i>Head</i>	21
2.5.3 <i>Opening</i>	23
2.5.4 <i>Flange</i>	25
2.5.5 Penopang pada Bejana Tekan	27
2.6 Metode Elemen Hingga	29
2.6.1 Pengenalan Metode Elemen Hingga	29
2.6.2 Geometri Elemen Hingga	31
BAB III METODOLOGI	
3.1. Bagan Pemodelan Perancangan Bejana Tekan.....	33
3.2. Penentuan Geometri Bejana Tekan	34
3.2.1. Penentuan Dimensi Awal Bejana Tekan.....	34
3.2.2. Penentuan Dimensi Shell dan Head berdasarkan Tekanan Internal.....	35
3.2.3. Penentuan Dimensi <i>Shell</i> dan <i>Head</i> berdasarkan Tekanan Eksternal	36
3.2.4. Perhitungan Pembebanan.....	38
3.2.5. Rancangan Bejana Tekan.....	40
3.3. Pemodelan Bejana Tekan dengan <i>software CAD</i>	41
3.3.1 Pemodelan Bejana Tekan.....	42
3.3.2 Pemodelan Pipa.....	46

3.3.3	Pemodelan <i>Flange</i>	47
3.3.4	Pemodelan <i>Skirt</i>	48
3.3.5	Pemodelan <i>Lifting Lug</i>	48
3.3.6	Pemodelan <i>Ladder Support</i>	49
3.3.7	Penggabungan seluruh Komponen Bejana Tekan	49
3.4	Pemodelan Pembebanan Bejana Tekan	50
3.4.1	<i>Import Model CAD</i> pada <i>software</i> Analisa.....	50
3.4.2	<i>Preprocessing</i>	51
3.4.3	Solusi.....	52
3.4.4	<i>Postprocessing</i>	56
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		
4.1.	Pengantar	58
4.2.	Data <i>Input</i>	60
4.2.1.	Spesifikasi Material.....	60
4.2.2.	Nodal dan Elemen	61
4.3	Pembebanan Bejana Tekan.....	62
4.4	Hasil.....	63
4.5	Pembahasan	72
BAB V PENUTUP		
5.1.	Kesimpulan	76
5.2.	Saran	77
DAFTAR PUSTAKA		78
LAMPIRAN A GRAFIK DAN TABEL		79
LAMPIRAN B VALIDASI PROGRAM (<i>BENCHMARK</i>)		87
LAMPIRAN C GAMBAR TEKNIK		93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram alir proses perancangan.....	7
Gambar 2.2	(a) Bejana tekan dinding tipis	9
	(b) Bejana tekan dinding tebal	9
Gambar 2.3	Gaya dan tekanan pada bejana tekan	11
Gambar 2.4	Tegangan <i>longitudinal</i> dan tekanan pada bejana tekan	12
Gambar 2.5	<i>Shell</i> silinder dinding tipis	19
Gambar 2.6	<i>Elipsoidal head</i> 2:1	21
Gambar 2.7	<i>Opening</i> pada bejana tekan	24
Gambar 2.8	<i>Slip on flange</i>	25
Gambar 2.9	Dimensi dan beban pada <i>slip-on flange</i>	26
Gambar 2.10	<i>Skirt support</i>	28
Gambar 2.11	(a) Pemberian beban pada suatu plat.....	30
	(b) Model elemen hingga	30
Gambar 3.1	Diagram alir perancangan dan analisa bejana tekan	33
Gambar 3.2	Pemodelan bejana tekan keseluruhan	42
Gambar 3.3	Bejana tekan awal	43
Gambar 3.4	Pembuatan lubang dan penebalan pada bagian sekitarnya	44
Gambar 3.5	Pembuatan <i>stiffening ring</i> pada bejana tekan.....	45
Gambar 3.6	Pemodelan <i>tray support</i>	45
Gambar 3.7	Pemodelan pipa	46
Gambar 3.8	Pemodelan <i>flange</i>	47
Gambar 3.9	Pemodelan <i>skirt</i>	48
Gambar 3.10	Pemodelan <i>lifting lug</i>	49
Gambar 3.11	Pemodelan <i>ladder support</i>	49
Gambar 3.12	Tampilan pada <i>software</i> analisa.....	50
Gambar 3.13	Bejana tekan setelah dilakukan proses <i>meshing</i>	51
Gambar 3.14	Pemberian beban tekanan internal pada bejana tekan.....	52
Gambar 3.15	Pembebanan angin pada bejana tekan.....	53
Gambar 3.16	Pembebanan momen pada <i>flange</i>	53

Gambar 3.17	Pembebanan pada <i>tray support</i> bejana tekan.....	54
Gambar 3.18	Pemberian <i>constrain</i>	55
Gambar 3.19	Analisa stabilitas pada bejana tekan.....	55
Gambar 3.20	Tampilan analisa <i>linear buckling</i>	56
Gambar 3.21	Hasil animasi tegangan dan <i>displacement</i>	57
Gambar 4.1	Posisi pengecekan tegangan.....	59
Gambar 4.2	Geometri yang dimasukkan ke dalam <i>software</i> analisa.....	60
Gambar 4.3	Hasil pengukuran tegangan pada <i>opening</i>	64
Gambar 4.4	Grafik tegangan desain 1 pada setiap posisi	64
Gambar 4.5	Grafik tegangan desain 2 pada setiap posisi	65
Gambar 4.6	Grafik tegangan desain 3 pada setiap posisi	65
Gambar 4.7	Hasil analisa tegangan bejana tekan	67
Gambar 4.8	Grafik Tegangan <i>Von Mises</i> pada posisi 1	67
Gambar 4.9	Grafik Tegangan <i>Von Mises</i> pada posisi 2	68
Gambar 4.10	Grafik Tegangan <i>Von Mises</i> pada posisi 3	68
Gambar 4.11	Grafik Tegangan <i>Von Mises</i> pada posisi 4	68
Gambar 4.12	Grafik Tegangan <i>Von Mises</i> pada posisi 5	69
Gambar 4.13	Grafik Tegangan <i>Von Mises</i> pada posisi 6	69
Gambar 4.14	Grafik Tegangan <i>Von Mises</i> pada posisi 7	69
Gambar 4.15	Tegangan pada <i>acceptance test</i>	71
Gambar 4.16	Grafik Tegangan <i>Von Mises</i> maksimum pada <i>acceptance test</i> .	71
Gambar 4.17	<i>Displacement</i> pada bejana tekan akibat beban mati	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel perhitungan ketebalan pada <i>head</i> berdasarkan jenisnya	22
Tabel 2.2	Perhitungan reinforcement pada <i>opening</i>	24
Tabel 2.3	Tabel perhitungan momen pada <i>flange</i>	26
Tabel 2.4	Tipe elemen dalam metode elemen hingga.....	31
Tabel 3.1	Dimensi dan faktor pada <i>flange</i>	39
Tabel 3.2	Tabel perhitungan momen pada <i>flange</i>	40
Tabel 3.3	Momen pada setiap <i>flange</i>	40
Tabel 4.1	Spesifikasi material dinding bejana tekan.....	61
Tabel 4.2	Spesifikasi material pipa pada <i>opening</i>	61
Tabel 4.3	Nodal struktur yang akan diambil datanya	62
Tabel 4.4	Tegangan pada setiap posisi.....	66
Tabel 4.5	Tegangan pada setiap posisi dengan pembebanan keseluruhan.....	70

NOMENKLATUR

Simbol	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 pada pengelasan	[in ²]
A ₃	Luas <i>reinforcement</i> plat	[in ²]
A ₄₂	Luas pada pengelasan	[in ²]
b	Lebar efektif <i>gasket</i>	[in]
B	Diameter dalam <i>flange</i>	[in]
C	Diameter antara baut	[in]
d	diameter nosel	[in]
D	Lebar bejana	[in]
Di	Diameter dalam	[in]
Do	Diameter luar	[in]
D _P	Diameter luar <i>reinforcement</i> plat	[in]
E	Efisiensi sambungan	[-]
<i>f_r</i>	Faktor reduksi kekuatan	[-]
F	Rasio optimum diameter dengan panjang bejana	[-]
g ₁	Tebal <i>hub</i> pada <i>flange</i>	[in]
G	Diameter reaksi beban <i>gasket</i>	[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 <i>gasket</i>	[lbf]
H _P	Beban tekan total permukaan kontak sambungan	[lbf]
H _T	Beban akibat tekanan pada permukaan <i>flange</i>	[lbf]
<i>l</i>	Panjang kaki pengelasan	[in]

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 <i>gasket</i>	[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]
S_u	Kekuatan <i>ultimate</i>	[psi]
t	Tebal shell yang digunakan	[in]
t_r	Tebal shell yang dibutuhkan	[in]
t_n	Tebal nosel yang digunakan	[in]
t_{rn}	Tebal nosel yang dibutuhkan	[in]
V_w	Kecepatan angin	[mil/jam]
W	Berat bejana	[lb]
σ	Tegangan normal	[N/m ²]
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Tegangan <i>principal</i>	[psi]
σ_{max}	Tegangan maksimum	[psi]
σ_{min}	Tegangan minimum	[psi]
σ_x	Tegangan <i>longitudinal</i>	[psi]
σ_y	Tegangan <i>circumferential</i>	[psi]
τ	Tegangan geser	[psi]
τ_{max}	Tegangan geser maksimum	[psi]