

PERANCANGAN BEJANA TEKAN

KAPASITAS 5 M3 DENGAN TEKANAN DESAIN 10 BAR BERDASARKAN STANDAR ASME 2007 SECTION VIII DIV 1

Riki Candra Putra
Jurusan Teknik Mesin – Universitas Muhammadiyah Tangerang

ABSTRAK

Dalam perancangan tangki bejana tekan, tahap awal yang dilakukan adalah mendefinisikan fungsi tangki bejana tekan tersebut dan juga kapasitas operasi bejana tekan tersebut. Fungsi dan kapasitas akan menentukan dimensi awal tersebut, ditambah dengan fluida akan dapat menentukan tebal dinding minimal yang akan digunakan untuk konstruksi.

Perancangan Bejana tekan pada penelitian ini mengikuti standar ASME section VIII Div 1 tahun 2007 karena untuk menghindari kesalahan-kesalahan yang terjadi pada perancangan. Ketebalan awal yang diperoleh setelah disesuaikan dengan tebal pelat yang ada di pasaran pada bagian shell dan head. Setelah itu, pembebanan diberikan sesuai kondisi operasi tersebut. Beban yang diberikan antara lain tekanan internal, berat mati, konsentrasi tegangan, diskontinuitas tegangan pada bagian lubang dan pada bagian pertemuan shell dan head.

Dari hasil perancangan didapat tebal dinding shell = 10 mm, head = 16 mm, Oleh karena itu, bagian-bagian kritis tersebut perlu mendapatkan perhatian khusus, agar konsentrasi tegangan dan diskontinuitas tegangan yang terjadi tidak mengakibatkan kegagalan pada struktur.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan zaman yang semakin maju oleh ilmu pengetahuan dan teknologi menuntut manusia pada zaman ini harus semakin aktif menggunakan produk-produk hasil teknologi. Dalam dunia industri terutama dalam bidang fluida bertekanan, pengolahannya membutuhkan perhatian lebih dari peran alat didalamnya karena fluida merupakan senyawa yang kompleks. Bejana bertekanan berfungsi sebagai media untuk memproses dan menyimpan material fluida sehingga dapat mengkonversi kondisi fluida yang setelahnya dapat digunakan sesuai kebutuhan & berdasarkan buku panduan American Society Mechanical Engineering (ASME 2007 Section VIII Div 1).

Bejana tekan memiliki tekanan pada bagian internal akibat tingginya suhu sehingga adanya perbedaan tekanan antara internal dengan luar bejana yang menghasilkan tekanan external. Selain akibat perbedaan tekanan dengan internal, bejana bertekanan juga sangat sensitif terhadap keadaan dari luar seperti korosi, angin dan gempa yang merupakan beberapa faktor yang sangat berpengaruh dalam perencanaan, pembuatan dan pemasangan bejana tekan. Tingginya tekanan dan temperatur mengakibatkan perencanaan bejana membutuhkan angka keamanan yang sangat tinggi. Maka perencanaan desain bejana tekan sangat penting agar tidak terjadi kecelakaan kerja dan kegagalan produk.

Sebagai Sarjana Teknik Mesin perlu adanya pemahaman tentang perencanaan desain bejana tekan agar nantinya dapat menentukan jenis sambungan yang aman. Hal ini berpengaruh pada kekuatan bejana tekan terhadap tekanan internal, tekanan external, tegangan-tegangan karena adanya Leg Supports, dan lainnya yang berhubungan dengan kekuatan sambungan terhadap kekuatan konstruksi bejana baik itu korosi, pengaruh angin, ataupun gempa. Oleh sebab itu, penulis membuat desain ulang bejana tekan dengan menggunakan data bejana yang sudah ada berdasarkan buku panduan *American Society Mechanical Engineering* (ASME 2007 Section VIII Div 1) dan standar tentang bejana tekan serta sambungan las.

Bejana tekan merupakan peralatan teknik yang mengandung resiko bahaya tinggi yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan atau ledakan. Oleh karena berbagai tantangan tersebut, penulis merancang sebuah bejana tekan dengan bantuan software CAD untuk memudahkan dan perancangan sebuah bejana tekan yang sesuai dengan standar kebutuhan.

Dalam perancangan bejana tekan ini dilakukan berdasarkan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang bejana tekan vertical yang sesuai dengan kode dan mengalisa kelayakan dari desain tersebut.
2. Bagaimana merancang tebal shell berdasar tekanan operasi sesuai referensi American Society Mechanical Engineering (ASME 2007 Section VIII Div 1).
3. Bagaimana menentukan desain legs support yang optimal pada bejana tekan

Sehingga penulis dapat merancang tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan kekuatan las pada shell dan legs dengan baik untuk posisi vertikal dengan mempertimbangkan faktor keamanan yang optimal serta merancang bejana tekan dengan detail drawing yang lengkap.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Popov (1978) bejana tekan berdinding tipis adalah bejana yang memiliki dinding yang idealnya bekerja sebagai membran, yaitu tidak terjadi lenturan dari dinding tersebut. Sebenarnya bola merupakan bentuk bejana tekan tertutup yang paling ideal bila isinya memiliki berat yang bisa diabaikan, tetapi pada kenyataannya pembuatan bejana tekan berbentuk bola sangat sulit sehingga orang lebih memilih bejana tekan berbentuk silinder. Bejana berbentuk silindris pada umumnya baik kecuali pada sambungan-sambungan lasnya.

Untuk menghasilkan kekuatan sambungan las yang baik maka material yang digunakan untuk merancang bejana tekan harus memenuhi persyaratan yang tertulis dalam (ASME). Sedangkan bahan yang mengalami tegangan karena tekanan harus memenuhi salah satu dari spesifikasi yang terdapat dalam (ASME 2007 Section VIII Div 1).

Bejana yang tercakup dalam (ASME 2007 Section VIII Div 1) harus didesain berdasarkan kondisi yang paling ekstrim pada kombinasi tekanan dan suhu bersamaan yang diperkirakan terjadi pada kondisi operasi normal.

Kegagalan retak pada bejana baja karbon bisa terjadi karena pecah ulet atau karena penggabungan void-void mikro, retak getas (brittle fracture) atau retak pecah, atau sobekan yang terjadi karena retak rapuh. Penurunan temperatur, penambahan takikan, dan laju pembebanan yang tinggi akan mendorong terjadinya retak rapuh.

Perancangan adalah kegiatan awal dari suatu rangkaian kegiatan dalam proses pembuatan produk. Dalam tahap perancangan dibuat keputusan-keputusan penting yang mempengaruhi kegiatan-kegiatan lain yang menyusul. di antara keputusan penting tersebut termasuk keputusan

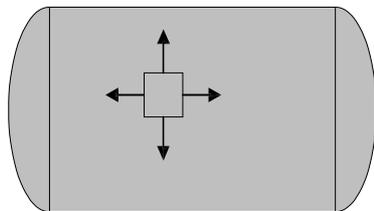
yang membawa akibat apakah industri dalam negeri dapat berpartisipasi atau tidak dalam pembangunan proyek. Dalam melaksanakan tugas perancangannya, perancangan memakai dan memanfaatkan ilmu pengetahuan, ilmu dasar teknik, pengetahuan empiris, hasil-hasil penelitian, informasi dan teknologi, yang semuanya dalam versi perkembangan dan kemajuan mutakhir.

Perancangan produk merupakan awal mula sebuah produk sebelum akhirnya dapat digunakan oleh yang membutuhkan produk tersebut. perancangan produk sendiri merupakan proses panjang yang melibatkan banyak orang dan berbagai kemampuan khusus. Perancangan merupakan proses iteratif dan seorang perancang memiliki banyak konsep untuk membantunya merancang. Proses dalam perancangan merupakan sesuatu yang tidak bisa dilewati begitu saja, sebab berpengaruh besar kepada hasil akhir perancangan tersebut. Perancangan diawali dengan adanya ketidakpuasan terhadap sesuatu, atau adanya suatu masalah yang perlu diselesaikan.

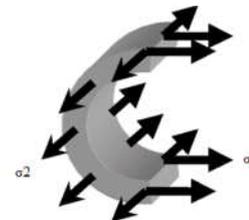
Definisi Bejana Tekan

Bejana tekan merupakan suatu wadah untuk menyimpan fluida bertekanan. Fluida yang disimpan dapat mengalami perubahan keadaan pada saat berada di dalam seperti pada kasus boiler atau dapat digabungkan dengan suatu reagen lainnya seperti pada pabrik kimia. Bejana tekan dirancang dengan pertimbangan yang perlu diperhatikan karena pecahnya bejana tekan berarti terjadinya ledakan yang dapat menyebabkan hilangnya nyawa dan kerusakan benda sekitar.

Penelaahan bejana tekan dapat dimulai dengan meninjau bejana tekan silindris seperti sebuah ketel, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Sebuah segmen dipisah tersendiri dari bejana ini dengan membuat dua bidang tegak lurus terhadap sumbu silinder tersebut dan sebuah bidang tambahan yang membujur melalui sumbu yang sama, seperti terlihat pada Gambar 2.2. Tegangan-tegangan yang terjadi pada irisan silinder tersebut adalah tegangan normal. Tegangan ini merupakan tegangan utama. Tegangan-tegangan ini yang dikalikan dengan masing-masing luas dimana mereka bekerja akan menjaga keseimbangan elemen silinder ketika melawan tekanan dalam.



Gambar 2.1 Bejana Tekan Silindris



Gambar 2.2 Tegangan Yang Terjadi Pada Dinding Bejana

Komponen Utama Bejana Tekan

Bejana tekan terdiri dari berbagai macam komponen utama dan pendukung, yang mempunyai fungsi masing-masing untuk menunjang operasi. komponen-komponen bejana tekan antara lain *shell, head, manhole, nozzle/ opening, flanges, leg supports, lifting lugs*.

Shell merupakan dinding bejana tekan biasanya berupa silinder, vertikal. Untuk bejana tekan yang difungsikan untuk penyimpanan.

Dalam perancangan bejana tekan, biasanya ditentukan terlebih dahulu dimensi awal dinding berupa diameter yang ditentukan berdasarkan volume operasi bejana tekan. Tebal dinding bejana

tekan dipengaruhi pula oleh kekuatan material, sehingga tekanan maksimal yang dapat diterima oleh bejana dibatasi oleh kekuatan material yang tersedia. bejana tekan dapat ditentukan melalui analisis tegangan pada dinding dan tegangan yang diijinkan oleh material yang digunakan.

Ada dua macam cara merancang ketebalan dinding bejana tekan dengan menggunakan tekanan internal bejana tekan, yaitu:

- Perhitungan menggunakan parameter bagian dalam bejana tekan

$$tr = \frac{P \cdot R}{SE - 0.6P}$$

P = Desain tekanan dalam (MPa)

S = Nilai tegangan dari material temperature (MPa)

E = Effisiensi dari pengelasan

R = Jari-jari bagian dalam bejana (mm)

D = Diameter bagian dalam bejana (mm)

t = Ketebalan dinding bejana (mm)

C.A.= Nilai korosi yang diijinkan (mm)

Psh = Tekanan head static

- Perhitungan menggunakan parameter bagian luar bejana tekan.

$$tr = \frac{P \cdot R}{SE + 0.4P}$$

P = Desain tekanan dalam (MPa)

S = Nilai tegangan dari material temperature (MPa)

E = Effisiensi dari pengelasan

R = Jari-jari bagian dalam bejana (mm)

D = Diameter bagian dalam bejana (mm)

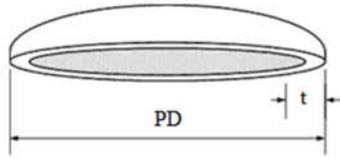
t = Ketebalan dinding bejana (mm)

C.A = Nilai korosi yang diijinkan (mm)

Psh = Tekanan head static

Head adalah bagian penutup dari ujung-ujung ellipsoidal bejana tekan. Pada bagian head ini juga terdapat bagian dari bejana tekan lainnya misalnya nozzle.

Ketebalan dari Head juga merupakan parameter utama yang perlu diperhatikan agar bejana dapat berkerja pada tekanan operasinya dengan aman. Gambar 2.3 memperlihatkan ketebalan head dan konstruksinya.



Gambar 2.5 Head (Tipe Ellipsoidal)

Rumus mencari ketebalan Head : $tr = \frac{P.D}{2SE+0.2P}$

P =Desain tekanan dalam (MPa)

D = Diameter bagian dalam bejana (mm)

t = Ketebalan dinding bejana (mm)

S = Nilai tegangan dari material temperature (MPa)

E = Effisiensi dari pengelasan

Standar Perancangan Yang Digunakan

A. Shell

Desain shell berdasarkan standar ASME UG-27 dan UG-28. Shell berupa silinder. UG-27 menyatakan bahwa ketebalan shell di bawah tekanan dalam harus tidak boleh kurang dari ketebalan hasil perhitungan dengan formula yang telah ditentukan. Sedangkan UG-28 menyatakan bahwa aturan untuk mendesain shell atau tabung pada ASME Section VIII hanya untuk shell tipe silindris dan spherical.

B. Head

Desain head berdasarkan standar ASME UG-32 yang menyatakan bahwa ketebalan head yang dibutuhkan pada titik paling tipis setelah proses pembentukan harus dihitung berdasarkan persamaan yang telah ditentukan. Desain head yang dipakai adalah ellipsoidal heads seperti pada ASME UG-32.

C. Opening

Desain opening berdasarkan standar ASME UG-36 yang menyatakan bahwa opening pada bejana atau head lebih baik berbentuk lingkaran, elips atau obround. Opening yang akan dirancang adalah berbentuk silindris dengan penyambungan las. Inspection opening didesain berdasarkan ASME UG-46.

D. Flange

Desain flanges berdasarkan ASME UG-44 yang menyatakan bahwa bentuk flange harus mengacu pada rating tekanan-temperatur, ketebalan serta dimensi yang lain harus memenuhi standar, salah satunya adalah ASME/ANSI B16.5.

E. Bolts dan Nuts

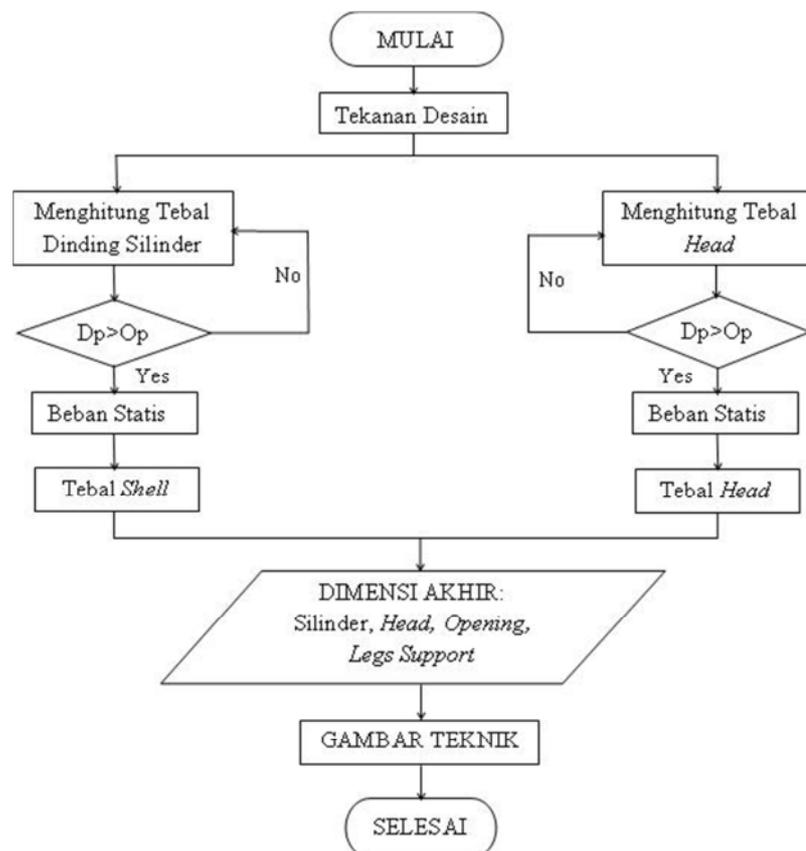
Desain bolt mengacu pada ASME UG-12 dan UG-13. UG-12 menyatakan bahwa bolts dan studs bisa digunakan untuk menyambung komponen yang bisa dilepas. Sedangkan UG-13 menyatakan bahwa nuts harus menyesuaikan aplikasi Part of Subsection C (UCS-11 dan UNF-13).

F. Legs Support

Desain penyangga mengacu pada ASME UG-54. Jenis penyangga yang digunakan adalah legs support. UG-54 menyatakan bahwa semua bejana harus ditopang dan penyangga tersebut harus disusun dan atau disambung ke dinding bejana sedemikian sehingga bisa menopang beban maksimum.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



Keterangan:

- Tekanan desain adalah tekanan yang harus dipertimbangkan dalam mendesain suatu perancangan
- Tebal silinder adalah tebal dinding (shell) bejana tekan
- Tebal head adalah tebal kepala bejana tekan
- Dp adalah desain tekanan

- Op adalah operasi tekanan, yang akan di gunakan untuk suatu proses instrument atau utility di suatu plant atau pabrik
- Beban statis adalah beban tetap atau diam yaitu beban yang terjadi pada beban benda itu sendiri
- Dimensi akhir adalah ukuran yang di dapat dari hasil akhir perhituggan dan di aplikasikan di gambar
- Gambar teknik adalah gambar kerja di gunakan untuk proses fabrikasi atau perancangan

3.2. Metode Pengumpulan Data

Dalam melaksanakan penelitian ini, penulis mengumpulkan berbagai macam informasi dari tulisan/jurnal perusahaan terkait yang menangani masalah tersebut.

Metodologi penulisan yang digunakan adalah:

A. Metode observasi

Metode ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data yang berdasarkan pengamatan secara langsung dan mencatat hal-hal yang berhubungan dengan permasalahan secara lengkap dan sistematis.

B. Metode Wawancara

Metode ini dilakukan dengan cara tanya jawab secara langsung dengan pembimbing dan para pekerja yang berada di lapangan yang ahli di bidangnya sehingga tidak terjadi kekeliruan.

C. Metode Kepustakaan

Metode ini merupakan cara untuk mendapatkan data-data secara teoritis sebagai bahan penunjang dalam penyusunan laporan skripsi ini baik dari buku, majalah, koran ataupun internet, untuk melengkapi data-data yang sudah ada.

3.3. Data Primer

Data-data awal untuk perhitungan yang digunakan adalah:

Fluida : Udara

Kapasitas operasi : 5 m³

Tekanan operasi : 10 Bar

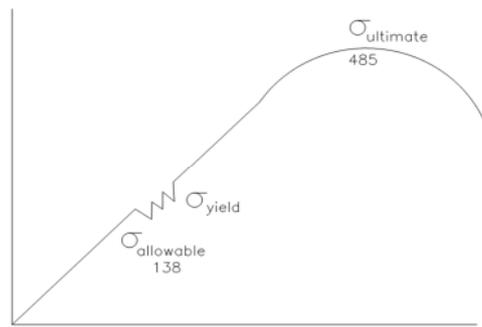
Temperatur Operasi : 50°C

Temperatur Desain 80°C

4. HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Menentukan Safety Factor

Safety Factor Terhadap Material SA 516 GR.70



Gambar 4.1 Diagram Tegangan

Keterangan:

σ_u = Ultimate Stress σ_y = Tensile Stress σ_{all} = Allowable Stress

$$SF = \frac{\sigma_u}{\sigma_y}$$

$$SF = \frac{485}{138} = 3.5$$

Safety Factor berdasarkan tegangan luluh material (Joseph P Vidosic, 1957):

SF = 3.0 – 4.5 : Bahan yang sudah diketahui. kondisi beban, tegangan dan lingkungan yang tidak pasti.

Safety Factor Terhadap Beban Desain

Beban Desain = SF.Operasi

10 Bar = SF.7.7

SF = 10 = 1.3

Safety Factor berdasarkan jenis bebannya (Dobrovolskiĭ, Viktor Afanasevich et al.1968):

Beban Statis : 1.25 – 2

DESIGN DATA			
CODE & STANDARD	ASME CODE SECTION VIII DIV. I 2007 EDITION		
NO REQUIRED	1 SET		
VOLUME	176.57	ft ³	5 M ³
CONTENT			
SERVICE	AIR		
ORIENTATION	VERTICAL		

DIAMETER	: INSIDE DIAMETER (ID)	62.99194	In	1600	MM
	: OUTSIDE DIA. HEAD (OD)	64.25177	In	1632	MM
	: OUTSIDE DIA. SHELL (OD)	63.77934	In	1620	MM
	: WL (HIGH SHELL)	89.99973	In	2286	MM
THICKNESS HEAD		0.6299194	in	16	MM
THICKNESS SHELL		0.3936996	in	10	MM
TOTAL (SHELL + TOP + BOTTOM HEAD)		126.5351	In	3214	MM
PRESSURE	: DESIGN PRESSURE (P)	145.0377	Psi	1	MPa
	: EXTERNAL DESIGN PRESSURE (P _e)	0	Psi	0	MPa
	: STATIC HEAD PRESSURE (P _{sh})	0.036	Psi	0.00025	MPa
	: DESIGN TOTAL (P _d + P _{sh}) (P)	145.0737	Psi	1.00025	MPa
	: OPERATING PRESSURE (P _o)	109.5198	Psi	0.7551121	MPa
TEMPERATURE	: DESIGN (T)	176	°F	80	°C
	: OPERATING (T _o)	122	°F	50	°C
	: M.D.M.T	68	°F	20	°C
HTP	:	188.5491	Psi	1.3	MPa
RADIOGRAPHY	: HEAD (E _h), LONGITUDINAL JOINT	0.85			
	: SHELL (E _s), LONGITUDINAL JOINT	0.85			
	: SHELL (E _s), CIRCUMFERENTIAL JOINT				
MATERIAL	: HEAD SA 516 GR 70	20010	Psi	138	MPa
	: SHELL SA 516 GR 70	20010	Psi	138	MPa
	: FLANGE SA 105	20010	Psi	138	MPa
	: PIPE SA 106	17110	Psi	118	MPa
	: COUPLING		Psi		MPa
CORR. ALLOWANCE	: HEAD	0.0394	In	1	MM
	: SHELL	0.0394	In	1	MM
DENSITY OF PRODUCT		0.678505	Lb/In ³	10.8686	Kg/m ³

5. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, untuk bejana tekan berisi udara dengan kapasitas 5 M3 dengan tekanan desain 10 Bar, desain temperature 80 OC, temperatur operasi 50 OC, maka dimensi akhir shell dan head bejana tekan yang aman digunakan adalah sebagai berikut:

1. Shell

Material shell : SA 516 GR. 70

Tebal dinding shell : 10 mm

2. Head

Bentuk head : ellipsoidal

Material head : SA 516 GR. 70

Tebal head : 16 mm

Dari berbagai penjelasan tentang bejana tekan diatas, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut;

- Bejana tekan adalah tempat penampungan suatu fluida baik berupa cairan maupun gas dengan tekanan yang lebih tinggi dari tekanan atmosfer. Bejana tekan pada umumnya bekerja pada suhu antara -350°F hingga diatas 1000°F dengan kapasitas yang sangat besar.
- Masalahan yang sering dihadapi pada pembuatan bejana tekan yaitu seringnya terjadi kerusakan pada saat penggunaan akibat pressure yang berlebih atau lifetime yang mulai berkurang sehingga perlu diantisipasi dengan repair dan maintenance.
- Apabila bejana tekan terindikasi adanya kerusakan dan tidak memenuhi syarat keselamatan, maka harus diuji lagi kekuatannya atau dilarang dipergunakan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B.H : Teknologi Mekanik Jilid I. Erlangga, Jakarta, 1992.
- Anonim, Rule For Construction of Pressure Vessel, Section VIII Division 1, ASME, New York, 2007.
- Anonim, Materials, Division II Part D-Properties, ASME, New York, 2007.
- Ir, Jac. STOLK, Ir, C. KROSS Elemen Konstruksi Dari Bangunan Erlangga, Jakarta, 1986.
- Mohd. Taib Sutan Sa'ti : Buku Polyteknik. PT. Bale, Bandung, 1996.
- Machine Design Project Joseph p. Vidosic, ph.d The Ronald Press. New York 1957.
- Niemann, Gustav : Elemen Mesin Jilid I. Berlin Heidelberg, New York, 1997.
- Pressure Vessel Design Manual Dennis Moss.