

**TUGAS AKHIR**

**MODIFIKASI ALAT PERCOBAAN KAVITASI  
PADA VENTURE DENGAN POMPA JENIS TURBIN  
UNTUK FLUIDA KEROSIN SISTEM TERBUKA**



Diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Diploma III  
pada Program Diploma III Fakultas Teknik  
Universitas Diponegoro

**Disusun oleh :**

**Trawan Hardani**  
**NIM. L0E 005437**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS DIPONEGORO**  
**2008**

## LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ **MODIFIKASI ALAT PERCOBAAN KAVITASI MENGGUNAKAN VENTURE PADA KEROSIN SISTEM TERBUKA** “ telah disahkan oleh Program Studi Diploma III teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.

Semarang, Juni 2008

Tim Penguji :

- 1.
- 2.
- 3.

Mengetahui,  
Dosen pembimbing

Bambang Setyoko, ST

NIP. 132 205 674

Ketua Program Studi  
Diploma III Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Diponegoro

Ir. Sutomo, M.Si

NIP. 131 698 935

## ABSTRAK

“Kavitasi adalah timbulnya gelembung – gelembung dalam aliran fluida akibat penurunan tekanan sehingga tekanan tersebut dibawah tekanan uap jenuhnya. Suara gaduh dan getaran yang disebabkan kavitasi terdengar saat pompa sedang beroperasi, jika operasi dilanjutkan mengakibatkan turunnya kerja suatu pompa. Akibat yang berlanjut ditimbulkan kavitasi adalah rusaknya instalasi dan pompa tersebut. Perancangan kembali alat uji kavitasi yang sudah dimodifikasi untuk membandingkan antara pemakai venturi berbentuk tabung dengan berbentuk persegi panjang. Untuk menghasilkan data karakteristik dan sejauh mana pengaruh kavitasi pada venturi tersebut. Sehingga dapat dianalisa sejauh mana pengaruh kavitasi terhadap head, debit, putaran, efisiensi dan faktor kerugian dengan berbagai macam variasi suhu serta menggunakan fluida air dan kerosin. Dengan menggunakan dua sistem instalasi terbuka dan tertutup diharapkan pengujian ini dapat mengetahui perbedaan saat kondisi vakum dan bertekanan sesuai lingkungan. Dari hasil pengujian dan analisa data pengaruh kavitasi pada venturi menggunakan fluida kerosin sistem tertutup sehingga dapat diperoleh data sebagai berikut : head total 3,842 m, debit maksimal 18 L/ min pada suhu 30 °C dan debit terendah terendah 17 l/m dan head 3.415 m pada suhu 60 °C, sedangkan putaran maksimal 2052 pada suhu 40 °C. Dari hasil percobaan dapat ditarik suatu kesimpulan karakteristik kavitasi yang terjadi pada suhu yang berbeda.

Kata kunci : kavitasi, head, debit, kerosin, venturi.

*“cavitation is water hammer emergence in the fluid flow because of the decrease, so the pressure is below its saturated vapor pressure. Cavitation causes noise and vibration which heard in a pump operation. If we keep operation the pump, cavitation will causes the decline of the pump work and in the next level, it will damage the instalation and the pump it self. The rearragement of the experience tool have been modified in order to compare between the use of cylindrical venturi and cubic venturi. The experiment is aimed to get the carecteristic data and now for the cavitation influence to ward the head, flow rate, rotation, efecyenci, and friction coeficient with varios temperature and it also rules water fluid and kerosene. By using the instalation system opened and closed, hopefully this experiment could reveal thedifference, both in the vacum inthe atmosphere pressure condition. From the ressell of the experiment andthe data analysis influince cavitation in venturi with kerosene fluid. It could be known caracteristic of the cavitation influence with total head 3,842 m, maximum flow rate 18 l/m in 30 °C and the minimum flowrate 17 L/m in 60 °C of temperature, mean while the maximum temperature. From the result of experiment conclusion couldbe drawn that carecteristic of cavitation happened in the defferent temperature.”*

Word key : cavitation, head, flowrate, kerosene, venturi.

## **MOTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTO**

- ☞ Sekali melangkah pantang menyerah, sekali tampil harus berhasil.
- ☞ Berdoa, berusaha, bersabar, ikhlas, dan bersyukur adalah jalan keselamatan.  
( Penulis )
- ☞ Datang bersama – sama adalah suatu permulaan, tetap bersama – sama adalah suatu kemajuan, bekerja bersama – sama adalah suatu kesuksesan.  
( Aristoteles )
- ☞ Nilai dari seseorang ini ditentukan dari kebenarannya dalam memikul tanggung jawab, mencintai hidup dan pekerjaannya.  
(Khalil Gibran )
- ☞ Waktu tidak dapat kembali, jadi manfaatkan waktu itu dengan sebaik – baiknya sebelum menyesalinya.  
( Penulis )

### **PERSEMBAHAN**

Laporan ini dipersembahkan kepada :

1. Segenap keluarga besar Universitas Diponegoro.
2. Orang tua dan seluruh anggota keluarga penulis.
3. Rekan – rekan mahasiswa PSD III Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
4. Semua orang yang mencintai ilmu pengetahuan.
5. Semua pihak yang telah memberikan pembelajaran.

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar tanpa ada halangan yang berarti. Laporan ini penulis susun sebagai syarat untuk menyelesaikan studi di Program Studi Diploma III Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Terselesaikannya penulisan laporan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, kritik, dan saran serta dorongan dari berbagai pihak baik bantuan secara moril maupun materiil. Penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat dalam penyelesaian tugas akhir ini. Ucapan terima kasih penulis tujuakan kepada ;

1. Bapak Ir.H.Syeh Qomar M.T. selaku Ketua Program Diploma Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
2. Bapak Ir.Sutomo M.Si selaku Ketua Jurusan PSD III Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
3. Bapak Bambang Setyoko. ST, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir dan Dosen Wali yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, petunjuk dengan sabar dan bijaksana.
4. Bapak dan Ibu tersayang, atas doa dan bantuan yang tak terhingga baik dari segi moral maupun material.
5. Teman-teman satu angkatan PSD III Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
6. Teman-teman kos dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penulisan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman penulis miliki. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan guna penyusunan laporan selanjutnya.

Akhirnya penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri khususnya maupun bagi pembaca pada umumnya..

Semarang , Juni 2008

Penulis

## DAFTAR ISI

JUDUL .....	
HALAMAN PENGESAHAN .....	
ABSTRAK .....	
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	
KATA PENGANTAR .....	
DAFTAR ISI .....	
DAFTAR TABEL .....	
DAFTAR GAMBAR .....	
DAFTAR GRAFIK .....	
DAFTAR LAMPIRAN .....	
BAB I    PENDAHULUAN .....	
1.1    Latar Belakang Masalah .....	
1.2    Maksud dan Tujuan .....	
1.3    Perumusan Masalah .....	
1.4    Pembatasan Masalah .....	
1.5    Metodologi .....	
1.6    Sistematika Penulisan Laporan .....	
BAB II    DASAR TEORI .....	
2.1    Dasar Teori Pompa .....	
2.2    Kerugian Head Pada Instalasi .....	
2.3    Penentuan Daya dan Efisiensi .....	
BAB III    PEMBUATAN A    LAT.....	
3.1    Lay Out Sistem Pengujian .....	
3.2    Alat Pengukuran Yang Dipakai .....	
3.3    Pemilihan Alat .....	

3.4	Pembuatan Alat .....
<b>BAB IV</b>	<b>PENGUJIAN DAN PENGAMBILAN DATA .....</b>
4.1	Sistem Terbuka .....
4.2	Sistem Tertutup .....
4.3	Data Hasil Pengujian .....
<b>BAB V</b>	<b>PERHITUNGAN .....</b>
5.1	Layout Sistem Instalasi Pengujian .....
5.2	Analisa Perhitungan .....
5.3	Perhitungan Efisiensi Pompa .....
5.4	Perhitungan Venture .....
<b>BAB VI</b>	<b>PENUTUP .....</b>
6.1	Kesimpulan .....
6.2	Saran .....
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG MASALAH.**

Pompa adalah mesin konversi energi yang dipakai untuk memindahkan fluida inkompresibel dari suatu tempat ke tempat lain dengan jalan memberikan energi fluida tersebut untuk mengatasi tahanan-tahanan yang ada.

Pompa yang dipergunakan sebelumnya harus diketahui karakteristik pada kondisi kerja yang berbeda, dengan demikian dapat ditentukan batas-batas kondisi kerja dimana pompa tersebut bisa mencapai efisiensi maksimum. Hal ini perlu dilakukan karena pada kenyataannya sangat sulit memastikan performansi pompa pada kondisi kerja yang sebenarnya.

Permasalahan yang sering terjadi pada suatu instalasi pompa adalah timbulnya kavitasi, yaitu timbulnya gelembung-gelembung dalam aliran fluida akibat penurunan tekanan sehingga tekanan tersebut dibawah tekanan uapnya. Hal ini dapat terjadi karena tekanan statik fluida setempat menjadi lebih rendah dari tekanan uap cairan (pada suhu sebenarnya). Kemungkinan penyebabnya adalah jika fluida semakin cepat dalam kran pengendali atau disekitar impeler pompa.

Bila pompa beroperasi pada tingkat yang berlebihan, tekanan hisap yang rendah akan dihasilkan pada sisi masuk pompa. Hal ini akan menyebabkan tekanan berkurang hingga kevakuman terjadi dan cairan berubah menjadi uap bila tekanan pada pipa lebih rendah daripada tekanan uap cairan. Aliran cairan kedalam pompa akan berhenti. Ini dikenal sebagai titik putus (breaking point) karena batas kapasitas pada tekanan sisi masuk ini telah dicapai. Pompa sedang mendekati kondisi operasi yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan.

Bila tekanan pada sisi masuk telah hampir mencapai titik penguapan, kantong uap akan membentuk gelembung pada sisi bawah baling impeler, dekat dengan dasarnya. Apabila gelembung bergerak dari daerah bertekanan rendah pada



sisi masuk ke daerah tinggi-tekan yang dekat ujung baling gelembung ini akan hilang sedemikian cepatnya sehingga cairan menumbuk baling-baling dengan gaya yang sangat besar, sering cukup besar untuk mencukil sebagian kecil impeler. Kerusakan ini umumnya disebut dengan bopeng (pitting) dan suara yang kedengaran diluar pompa selama kavitasi disebabkan oleh pecahnya gelembung uap tersebut.

Kavitasi itu sendiri tidak menyebabkan kerusakan. Walau demikian, bila kecepatan berkurang dan tekanan bertambah, uap akan menguap dan jatuh. Hal ini memiliki tiga pengaruh yang tidak dikehendaki:

1. Erosi permukaan baling-baling, terutama jika memompa cairan berbasis air.
2. Meningkatnya kebisingan dan getaran, mengakibatkan umur sil dan *bearing* menjadi lebih pendek.
3. Menyumbat sebagian lintasan impeler, yang menurunkan kinerja pompa dan dalam kasus yang ekstrim dapat menyebabkan kehilangan *head* total.

## **1.2. MAKSUD DAN TUJUAN.**

Tujuan dari pembuatan alat pengujian kavitasi merupakan bagian dari penelitian dan pengembangan / modifikasi peralatan alat pengujian di laboratorium pengujian mesin Program Studi Diploma III Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Dengan adanya modifikasi alat ini diharapkan Mahasiswa lebih mudah memahami karakteristik pompa pada kondisi kavitasi.

Tujuan dari pembuatan alat ini adalah :

1. Mengetahui tekanan, debit dan suhu terjadinya kavitasi.
2. Membandingkan hasil percobaan antara venture dengan penampang bentuk tabung dengan venture dengan penampang bentuk persegi, tentunya percobaan dilakukan dengan zat cair yang sama dengan zat cair sebelumnya.

3. Dengan pipa pvc transparan dapat diketahui secara visual proses / sistem yang terjadi dalam alat uji tersebut. Dimana terjadinya kavitasi akan terlihat secara jelas.
4. Pengaplikasian materi mata kuliah pompa dan kompresor.
5. Menyediakan alat uji kavitasi untuk pengembangan laboratorium.

### **1.3. PERUMUSAN MASALAH.**

Kami mengambil judul ini dengan harapan dapat mengetahui perbedaan alat uji kavitasi yang sudah dimodifikasi dengan alat uji sebelumnya. Tentunya membandingkan antara pemakaian venturi berbentuk tabung dengan pemakaian venturi sebelumnya yang berbentuk persegi panjang. Hal yang dibandingkan khususnya adalah mengenai sisi tekanan, suhu dan debit air pada sistem alat pengujian tersebut, dimana pada tekanan, suhu dan debit akan terjadi atau timbul kavitasi. Perbandingan ini tentunya dengan menggunakan bahan yang sama dengan percobaan sebelumnya, yaitu menggunakan air dan kerosin.

Alat pengujian ini menggunakan sistem tertutup. Untuk pengujiannya dilakukan dengan kondisi tabung reservoir divakumkan dan fluida cair dipanaskan. Untuk dapat menghasilkan karakteristik pompa, instalasi pengujian harus dapat memberikan variasi kondisi kerja pada pompa yang diuji. Variasi kondisi kerja dapat dilakukan dengan mengatur head dan debit yang dibangkitkan pompa. Dengan cara ini akan diketahui karakteristik pompa untuk setiap kondisi kerja. Data-data yang diperlukan untuk menentukan karakteristik pompa dapat diperoleh dengan beberapa pengukuran, sehingga diperoleh parameter-parameter sebagai berikut :

1. Head.
2. Debit.
3. Putaran pompa.
4. Suhu.

#### 5. Tekanan.

Dengan mengetahui jumlah putaran, daya, debit, dan head tertentu dari tiap-tiap pengukuran pada kondisi kerja yang berbeda, maka akan diketahui terjadinya Kavitasi.

### **1.4. PEMBATASAN MASALAH.**

Untuk dapat menghasilkan alat pengujian kavitasi yang diinginkan, maka instalasi pengujian harus dapat memberikan variasi kondisi kerja. Oleh karena itu, dalam pembuatan alat pengujian berpegang pada pembatasan masalah berikut :

1. Pompa yang dipilih adalah pompa sentrifugal jenis turbin.
2. Variasi kondisi kerja pada pengujian ini menggunakan variasi debit dan suhu air.
3. Pengamatan dilakukan sebelum masuk dan di dalam venture untuk mengetahui besarnya tekanan yang ditimbulkan.
4. Analisa perhitungan dilakukan pada venture, bagian pompa, dan sistem pemipaan.

### **1.5. METODOLOGI.**

Metodologi yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan alat ini adalah :

#### 1. Studi Pustaka

Studi pustaka merupakan langkah yang dilakukan setelah menentukan pokok permasalahan. Metode ini bertujuan untuk memperoleh teori-teori dasar dan prosedur perancangan yang berkaitan dengan materi yang ditulis.

#### 2. Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam pembuatan alat uji. Data-data ini bisa berupa data tentang pompa, venturi, dan material-material dari setiap komponen.

### 3. Pembuatan Alat Pengujian

Pada langkah ini dilakukan penyusunan komponen untuk pembuatan instalasi pengujian yang telah direncanakan sebelumnya.

## 1.6. SISTEMATIKA PENULISAN LAPORAN

### BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, maksud dan tujuan, perumusan masalah, pembatasan masalah, metodologi dan sistematika penulisan.

### BAB II DASAR TEORI

Berisi tentang dasar teori pompa, dasar perhitungan pada alat yang didesain

### BAB III PEMBUATAN ALAT

Berisi tentang peralatan dan bahan yang digunakan, serta proses pembuatan alat.

### BAB IV PENGUJIAN DAN PENGAMBILAN DATA

Berisi tentang cara pengujian alat dan pengambilan data setelah alat selesai dibuat.

### BAB V PERHITUNGAN

Berisi tentang lay out instalasi alat dan analisa perhitungan dan serta perhitungan efisiensi alat.

### BAB VI PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran

## **BAB VI PENUTUP**

### **6.1. KESIMPULAN**

Dari pembahasan, perhitungan dan analisa data dari alat uji kavitasi dari fluida kerosin sistem terbuka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Alat pengujian kavitasi digunakan untuk mengetahui titik dimana mulai terjadi kavitasi dengan mengubah suhu maupun putaran pompa.
- b. Untuk menghindari terjadinya kavitasi diperlukan suatu instalasi pipa yang baik untuk memperkecil kerugian akibat gesekan, kerugian kecepatan, kerugian statis dan kerugian lainnya sehingga efisiensi pompa menjadilebih besar.
- c. Batas maksimum penggunaan dan instalasi pengujian ini pada kondisi mulai terjadi kavitasi adalah sebagai berikut :
  - Tekanan maksimum sebesar  $0.30 \text{ kg/cm}^2$  pada tekanan dinamik didalam venturi saat Suhu sebesar  $30^{\circ}\text{c}$
  - Tekanan terendah sebesar  $-0,28 \text{ kg/cm}^2$  pada tekanan statis didalam venture saat Suhu sebesar  $30^{\circ}\text{c}$
  - Dengan putaran tertinggi sebesar 2052 rpm pada suhu  $40^{\circ}\text{c}$  dan putaran terendah sebesar 1995 rpm pada suhu  $60^{\circ}\text{c}$ .
- d. Pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  kecepatan aliran mencapai  $1.059 \text{ m/s}^2$  dan suhu  $60^{\circ}\text{C}$  kecepatan aliran mengalami penurunan sampai  $1 \text{ m/s}$ . Penurunan ini dikarenakan semakin suhu meningkat berakibat pada turunnya debit yang mengalir pada fluida yang berakibat.
- e. Pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  head total mencapai  $3.842 \text{ m}$  dan suhu  $60^{\circ}\text{C}$  head total mengalami penurunan sampai  $3.415 \text{ m}$  penurunnya cukup drastis. Penurunan ini dikarenakan semakin suhu meningkat berakibat pada turunnya kerapatan fluida yang mengalir karena mengalami penguapan yang berakibat kavitasi dan semakin kecil head total pompa

- f. Pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  efisiensi pompa mencapai 6,92 % dan suhu  $60^{\circ}\text{C}$  efisiensi pompa mengalami penurunan sampai 6,11 %. Penurunan ini dikarenakan semakin suhu meningkat berakibat semakin cepat terjadi kavitasasi dan sebanding dengan daya hidro dan daya poros yang semakin menurun yang berakibat turunnya efisiensi pompa yang bekerja sesuai dengan akibat yang ditimbulkan dari kavitasasi.
- g. Pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  koefisien kerugian pada venture mencapai -1,059 dan suhu  $60^{\circ}\text{C}$  kerugian gesekan pada venture mengalami kenaikan sampai -1,051. Kenaikan ini dikarenakan semakin suhu meningkat berakibat semakin cepat terjadi kavitasasi dan berbanding terbalik dengan tekanan dinamis didalam dan diluar venturi yang semakin menurun, kerugian gesekan venture yang bernilai negative (-) ini penurunan tekanan didalam venture akibat dari penyempitan luasan.
- h. Kondisi kavitasasi terjadi ditandai dengan munculnya gelembung – gelembung dalam aliran fluida dapat dilihat didalam venture dikarenakan warnanya yang transparan.
- i. Kavitasasi terjadi bila penurunan tekanan sampai dibawah tekanan uap jenuhnya dalam suatu aliran fluida yang mengalami penyempitan karena sebagian head tekanan diubah menjadi head kecepatan.
- j. Semakin tinggi temperature dari suatu fluida maka akan mudah terjadi kavitasasi ini dikarenakan tekanan uap cairan lebih rendah sehingga kerapatan dari fluida akan mengalami penurunan yang mempermudah fluida untuk menguap.

## **6.2. SARAN**

Dari perhitungan dan analisa data dari alat uji kavitasasi dari fluida kerosin sistem tertutup dapat diberikan saran - saran sebagai berikut :

- a. Untuk mendapatkan hasil pengujian yang lebih baik maka harus diperhatikan hal – hal sebagai berikut :

- Pengujian yang dilakukan menggunakan alat uji kavitasasi ini harus sesuai prosedur langkah – langkah pengujian yang benar.
  - Pengambilan data dari pengujian alat uji kavitasasi ini harus dengan pengamatan yang seteliti mungkin.
- b. Untuk mendapatkan hasil yang pengujian yang lebih baik perlu adanya tambahan alat ukur pressure gauge di tabung vakum pada sistem aliran tertutup dan thermometer pada aliran keluar venturi.
- c. Data dan analisa alat uji kavitasasi ini semoga dapat menjadi acuan dalam perencanaan instalasi pompa untuk menghindari terjadinya kavitasasi dengan memperhatikan hal – hal sebagai berikut :
- Diusahakan agar tidak ada suatu bagian instalasi pompa dari aliran fluida yang mempunyai tekanan yang lebih rendah dari tekanan uap jenuh fluida pada temperature yang tinggi.
  - Ketinggian letak pompa terhadap permukaan fluida yang dihisap harus dibuat serendah mungkin agar head isap statis lebih rendah.
  - Panjang pipa instalasi harus dibuat sependek mungkin dan pemilihan kekasaran pipa untuk mengefisienkan kerugian gesek.
  - Tidak dibenarkan untuk memperkecil kapasitas aliran dengan menghambat aliran fluida dalam instalasi karena akan menjadi drag dan mempengaruhi kapasitas pompa.
- d. Dalam pembuatan venturi harus secermat mungkin karena bias mempengaruhi tekanan dan faktor gesekan yang terjadi dalam percobaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Antoni S, dkk. 2007. *Alat Percobaan Kavitas Menggunakan Pompa Jenis Turbin*. Semarang : Undip.
- Austin H, Church. 1990. *Pompa dan Blower Sentrifugal*. Jakarta : Erlangga
- Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power, India. 2004. *Pumps and Pumping Systems*. In: Energy Efficiency in Electrical Utilities, chapter 6.
- Cengel, Yunus A. 2002. *Property Tables Booklet for use with thermodynamics an engineering approach*. Boston : McGraw-Hill
- Edward, Hicks. 1996. *Teknologi Pemakaian Pompa*. Jakarta : Erlangga
- Fluide Design Inc. [www.fluidedesign.com](http://www.fluidedesign.com)
- Pedoman Efisiensi Energi. [www.energyefficiencyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org)
- Tahara Haruo, Sularso. 1994. *Pompa dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian, dan Pemeliharaan*. Jakarta : Pradnya Paramita
- The Engineering Toolbox. [www.engineeringtoolbox.com](http://www.engineeringtoolbox.com)