

Failure Analysis of Hydraulics Cylinder on 800 Ton Plastic Injection Moulding Machine

Edi Sutoyo^{1,*}, Setya Permana Sutisna¹ dan Budi Hartono¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun - Bogor

*Korespondensi: edi.sutoyo@ft.uika-bogor.ac.id

Abstract. Hydraulic cylinder moulding is a moulding component used to assist cavity opening on moulding process. A plastic injection moulding with 800 tons capacity has 2 units of hydraulic cylinder. Failure of hydraulic cylinder is known after operated for 5470 machine hours. Such condition requires the hydraulic cylinder to be disassembled and have its components analyzed to keep its operating capacity matched with other moulding machines. Current case found a pressure drop problem that causing production failures thus stopping the production line. Scratches on cylinder wall are found while inspecting the hydraulic cylinder. Evaluation by dimensional and tolerance measurement shows that the cylinder has non-cylindrical shape between the piston and the tube, therefore produces scratches on the wall. Simulation approach of actual operating condition shows that cylinder is not undergo over strength condition on forward and backward stroke. Literature study shows that assembly failure is occurred thus causing the cylinder to fail.

Abstrak. Silinder hidrolik moulding merupakan salah satu komponen moulding yang digunakan untuk membantu membuka cavity pada moulding. Terdapat 2 unit silinder hidrolik yang digunakan pada mould di mesin injections plastic berkapasitas 800 ton. Kerusakan silinder hidrolik diketahui terjadi setelah mencapai 5470 jam operasi (hours machine). Keadaan seperti ini mengharuskan membongkar dan menganalisa setiap komponen-komponen silinder hidrolik. Proses analisa dilakukan untuk mengetahui fitur-fitur kritis pada setiap komponen silinder hidrolik agar dapat beroperasi sama dengan kapasitas mesin mould yang lainnya. Pada kasus ini, ditemukan masalah pressure drop yang mengakibatkan gagal produksi sehingga line stop. Komponen silinder hidrolik ketika diperiksa secara aktual ditemukan cacat/kerusakan berupa scratch pada dinding silinder. Hasil evaluasi secara pengukuran dimensi dan toleransi terdapat sisi yang tidak silindris antara piston dengan tube sehingga mengakibatkan goresan yang terjadi pada dinding silinder. Hal yang sama diperoleh melalui pendekatan secara simulasi dengan memasukan kondisi sesuai operasi bahwa silinder tidak mengalami over strength baik ketika langkah maju ataupun mundur. Dari kajian yang dilakukan diperoleh bahwasanya terdapat kesalahan pemasangan/assembly sehingga mengakibatkan silinder mengalami kegagalan.

Kata kunci: silinder hidrolik, fitur kritis, scratch

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Dewasa ini dunia industri manufaktur semakin berkembang seiring dengan perkembangan zaman. Pekerjaan manusia semakin kompleks dan adanya kemajuan di bidang teknologi telah mendorong manusia untuk melakukan perbaikan terhadap alat-alat yang sudah diproduksi [1]. Masalah yang harus dihadapi sekarang bagaimana sebuah industri mampu untuk menciptakan berbagi produk yang memiliki kualitas dan produktifitas yang mampu bersaing di dunia pasar. Industri dituntut untuk melakukan sebuah perbaikan-perbaikan agar bisa mengoptimalkan kerja mesin supaya dapat bekerja secara efektif dan efisien. Target yang harus dicapai untuk melakukan produksi supaya tidak terjadinya *delay* atau *line stop*.

Pada kasus ini saya akan membahas tentang dunia industri yang menggunakan mesin Mold Injection dengan spesifikasi ; memiliki berat 5,4

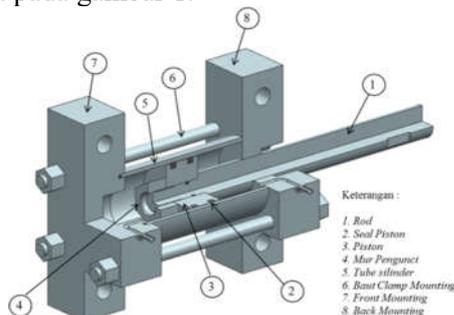
ton dengan dimensi 600 mm x 500 mm x 750 mm, mold tersebut beroperasi pada mesin *HTF 800W2* berkapasitas 800 ton. Mould tersebut memiliki 2 (dua) unit silinder hidrolik moulding yang berfungsi sebagai pendorong *ejector unit* untuk mengeluarkan *part* dari *mould*.

Studi kasus ini melatarbelakangi adanya kasus pada hidrolik silinder di area produksi. Kronologinya adalah hidrolik diperbaiki karena silinder tersebut mengalami kerusakan. Perbaikan yang dilakukan dengan mengganti komponen tube original equipment manufaktur (OEM) dengan material yang sama STKM 13C, sedangkan dari design awal dimensi dan *seal* tidak ada perubahan. Hidrolik mengalami kerusakan setelah beroperasi selama 5470 HM (*Hour Machine*) dan tidak sesuai dengan *life time* yang ditentukan yaitu selama 7000 jam. Silinder tersebut mengalami gores tajam (*scratch*) pada *tube silinder* sehingga mengakibat-

kan *seal* tidak berfungsi normal dan mengalami kebocoran. Dalam sebuah hidrolis terdapat beberapa bagian yang cukup penting yaitu diantaranya: *tube silinder*, *piston*, dan *rod piston*, *head silinder*, *bracket*, dan *seal package*. Silinder yang mengalami *scratch* memanjang sehingga mengakibatkan hidrolis mengalami *pressure drop* dan tidak mampu mendorong *ejector unit* sehingga gagal produksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fitur kritis dimensi pada komponen silinder hidrolis setelah operasi 5740 jam.

Tinjauan Pustaka

Silinder hidrolis *moulding* merupakan sebuah aktuatur mekanis yang menghasilkan gaya searah melalui gerakan stroke yang searah. Alat ini menjadi salah satu bagian dari *moulding* yang berfungsi mendorong produk dari *cavity moulding* setelah proses injeksi. Jika motor hidrolis mengubah tekanan fluida hidrolis menjadi gerakan putar, maka silinder hidrolis menghasilkan gerakan stroke yang searah atau translasi. Silinder hidrolis mendapatkan gaya dari fluida hidrolis bertekanan. Komponen silinder hidrolis pada *moulding* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Komponen-komponen silinder hidrolis pada *moulding*

Silinder hidrolis terdapat piston yang terhubung dengan rod yang dapat bergerak maju dan mundur bergantung pada sisi mana yang diisi oleh fluida hidrolis bertekanan. Besar tekanan yang digunakan berbeda pada kedua sisi silinder bergantung pada beban, luas penampang silinder dan sisi *rod*-nya. Silinder hidrolis mempunyai bagian-bagian yang saling berkaitan diantaranya *tube silinder*, *Piston*, *Piston Rod*, *Sistem Seal/ Gland*, dan *Wear Ring*.

Pada posisi ini silinder hidrolis menempel pada *moulding*. Pada umumnya prinsip kerja silinder hidrolis ini berfungsi hampir sama dengan silinder hidrolis pada umumnya. Hanya saja desain dan komponen yang berbeda dengan silinder hidrolis yang lain pada peralatan (*equipment*) lain.

ISO 7425 menentukan dimensi dan toleransi terkait untuk serangkaian *seal piston housing* untuk mengakomodasi elastomer energi, *seal* plastik

yang dihadapi digunakan dalam aplikasi reciprocating. ISO 7425 menetapkan rincian desain *seal*, karena cara konstruksi *seal* bervariasi dengan masing-masing produsen. Desain dan material dari *seal* dan setiap terkait komponen anti ekstrusi ditentukan oleh kondisi seperti suhu dan tekanan.[4]

Mendesain sebuah piston untuk pemberian dimensi harus mengacu pada tabel ISO 7425-1 : 1988. Sebagai acuan untuk menentukan dimensi *radial depth* dan *axial length* pada *piston seal housing*.

Piston seal simetris adalah *type seal piston* untuk hidrolis *single acting* yang bermaterial *polyurethane*. Profil ini disediakan dengan bibir *seal* dinamis yang kuat dan lebarbidang kontak dari bibir statis, yang menjamin sebuah posisi yang efektif di alur. Ukuran *gap* dan *bore* berdasarkan tekanan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Gap* antara *bore tube* dengan diameter luar *piston* berdasarkan tekanan

Operasional tekanan [Mpa]	Radial clearance S max.	
	Diameter Bore Tube (≤ 60 mm)	Diameter Bore Tube (≥ 60 mm)
5	0,40	0,50
10	0,30	0,40
20	0,20	0,30
40	0,15	0,20
50	0,10	0,15

Profil ini juga cocok untuk tekanan sampai 40 mpa tersediabawa kesenjangan ekstrusi disesuaikan dengan tingkat tekanan. Dari segi keuntungan *piston seal* ini memiliki desain alur yang sederhana, resistensi tinggi, serta *lifetime* yang panjang. Aplikasi yang biasa digunakan pada *piston seal* ini direkomendasikan untuk *single acting* pada aktuatur silinder hidrolis. Kondisi kerja *piston seal*:

- Tekanan : 5 – 40 MPa
- Kecepatan : Hingga 0,5 m / s
- Suhu : -35 °C hingga + 110 °C
- Media : Oli mineral hidrolis

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Struktur Universitas Ibn Khaldun. Observasi dilakukan penelitian pengukuran dan kondisi lapangan secara teknis di PT. Cahaya Inti Makmur. Selanjutnya kegiatan penelitian meliputi, perbandingan antara kondisi aktual dimensi dengan dimensi standar, rancang desain kembali untuk komponen-komponen silinder hidrolis *moulding*, dan uji simulasi *load eksternal* pada model piston dan rancang desain.

Peralatan yang diperlukan untuk meneliti desain tube silinder yaitu alat ukur. Pada proses desain

untuk pemberian toleransi geometris tidak berguna jika alat ukur yang direkomendasikan tidak tersedia. Oleh karena itu pemberian toleransi geometri seharusnya sesuai dengan kelengkapan alat ukur yang tersedia untuk menjamin keakuratan dalam pengukuran. Alat ukur yang tersedia di Laboratorium Mekanika Struktur Universitas Ibn Khaldun adalah sebagai berikut:

- *Vernier Caliper*. Kapasitas pengukuran panjang 0 – 150 mm, 0-300 mm, dan 0-600 mm, dengan ketelitian sampai dengan 0,05 mm.
- *Micrometer outside*. Ketelitian sampai dengan 1/100 mm. Sebagaimana hanya *vernier caliper*, alat ukur ini juga memiliki rentang kapasitas pengukuran antara lain, 100-200 mm, 200-300 mm, 300-400 mm.
- *Bore Gauge*. Alat ukur ini digunakan untuk mengukur inside diameter suatu tube. Ada beberapa rentang kapasitas pengukuran yang tersedia, salah satunya adalah 100-500 mm. Ketelitian alat ukur ini adalah 1/100 mm.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah beberapa komponen silinder hidrolik *moulding*, dengan karakteristik pada tabel 2.

Tabel 2. Komponen silinder hidrolik *moulding*

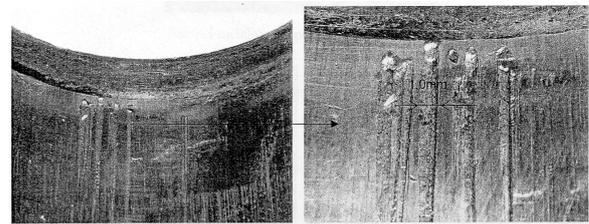
Komponen	Qty	Material	Yield Strength MPa	Tensile Strength MPa
Tube	1	STKM 13 C	206	517
Piston	1	S 45 C	530	625
Rod	1	S 45 C	530	625
Seal	1	UHS		
Piston		63 × 53 × 6		
Seal Rod	1	Viton		

Silinder hidrolik *moulding* merupakan salah satu komponen hidrolik yang terdapat pada tooling mould yang aplikasinya dioperasikan di mesin injeksi berkapasitas 800 ton. Silinder hidrolik *moulding* sendiri merupakan silinder *double acting* pada fluida 75 bar dan stroke 100 mm. Terdapat 2 unit silinder hidrolik pada mould yang mempunyai massa 5,4 ton.

Seluruh komponen silinder yang dibongkar diperiksa kondisinya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keausan silinder tersebut. Komponen yang rusak dan aus akan diganti dengan yang baru, komponen lain yang masih bagus akan diukur dimensinya kemudian dibandingkan nilai ketertukarannya dimensinya dengan komponen pasangan yang telah diukur. Bentuk kerusakan pada *silinder tube* dapat dilihat pada gambar 2.

Tabel 3 memperlihatkan beberapa komponen yang mengalami kerusakan, ada juga yang direkondisi dan masih bisa digunakan. Beberapa kom-

ponen metal dan komponen non metal seperti *seal* dan *o seal* harus diganti dengan yang baru. Semua komponen yang diproses rekondisi ataupun proses manufaktur *make new* harus dibuatkan gambar kerjanya.



Gambar 2. Kondisi *Tube Silinder Hidrolik* yang mengalami *Scratch*

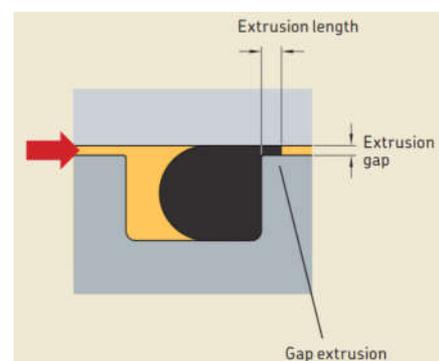
Tabel 3. Kondisi komponen silinder hidrolik *moulding*

Part Name	Material	Jml	Condition	Action
<i>Rod</i>	<i>Steel</i>	1	Masih bisa dipakai	Rekondisi
<i>Tube</i>	<i>Steel</i>	1	<i>scratch memanjang</i>	Make New
<i>Piston</i>	<i>Steel</i>	1	Masih bisa dipakai	Rekondisi
<i>Piston seal</i>	<i>Standard</i>	2	Elastisitas berkurang	New
<i>O Ring</i>	<i>Standard</i>	1	Masih bisa dipakai	New

Kerusakan biasanya terjadi pada part yang mengalami sliding dan bergesekan, seperti *piston*, *tube*, dan *seal*. Pada pengukuran, silinder hidrolik *moulding* yang diukur dimensi awal pada komponen-komponen. Proses ini juga penting sebagai input data rekondisi silinder yang selanjutnya akan diproses untuk dianalisa desainnya oleh bagian *Engineering*.

Hasil dan Pembahasan

Kerusakan silinder terjadi pada *tube* silinder (*scratch memanjang*). Hal ini terjadi karena beberapa faktor dalam penentuan dimensi dan toleransi pada piston yang tidak sesuai.



Gambar 3. *Seal* yang terekstrusi akibat *extrusion gap*

Penggunaan pada piston yang tidak sesuai dapat mengakibatkan permasalahan-permasalahan pada silinder, apabila celah *piston* dengan *tube* terlalu

besar akan mengakibatkan kebocoran, apabila terlalu kecil akan mengakibatkan kontak metal dengan metal. Gambar 3 menunjukkan *seal* yang keluar dari *groovenya* akibat *extrusion gap* yang terlalu besar.

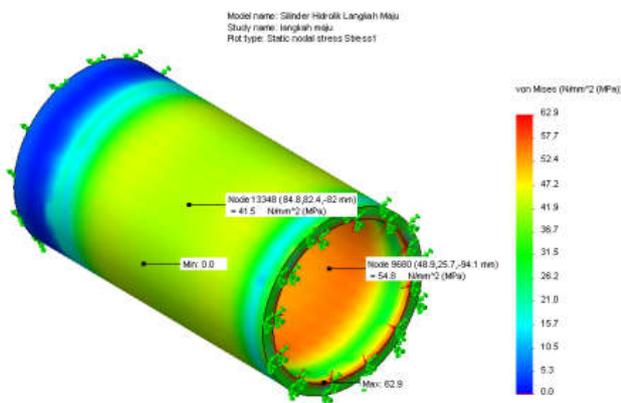
Pada penelitian ini, perhitungan analitik dilakukan dari sisi dimensi dan toleransi silinder tersebut. Data untuk perhitungan analitik ditabulasikan dalam tabel 4. Dimensi piston akan dibandingkan dengan dimensi hasil analisis, kemudian dianalisis kemungkinan deformasi yang terjadi.

Tabel 4. Hasil pengukuran aktual

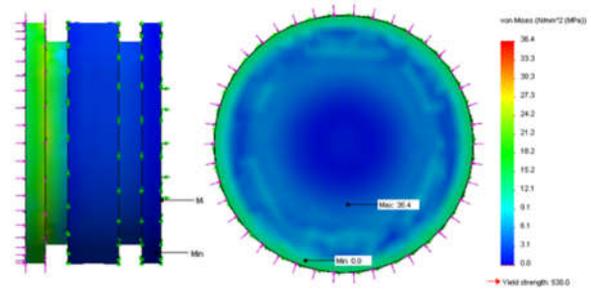
Item Pengukuran	Dimensi Standar (mm)	Metode	Dimensi existing (mm)	Result
B_{tube}	$\varnothing 63H9^{+0,074}_0$	inside micrometer	$\varnothing 63,004$	OK
OD Piston	Gap max 0,13 mm from bore tube	CMM	$\varnothing 62,875$	OK
D_{gps}	$\varnothing 53 h9^0_{-0,074}$	dial caliper	$\varnothing 52,98$	OK
$D_{rod 1}$	$\varnothing 30 \pm 0,1$	dial caliper	$\varnothing 30,05$	OK
L_{gps}	$6^{+0,2}_0$	dial caliper	$\varnothing 6,00$	OK
S (radial gap)	$5^{+0,07}_0$	dial caliper	$\varnothing 5,01$	OK
Kesilindrisan	0,13	CMM	0,15	NG

Simulasi untuk mencari tegangan kritis dilakukan pada *tube* dan *piston* pada saat pembebanan maksimal. Ukuran toleransi pada *piston* erat kaitannya dengan deformasi yang terjadi. Parameter dari analisis ini yaitu tegangan yang terjadi harus lebih kecil dari tegangan yang diijinkan.

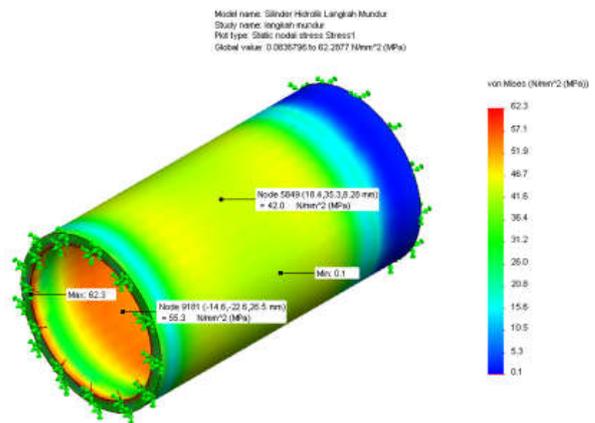
Pada penelitian ini, penulis menganalisis tegangan pada *tube* dan *piston* menggunakan simulasi *software solidwork* dengan metode pembebanan statis yang kemudian dibandingkan dengan perhitungan manual atau berdasarkan rumus. Analisis ini dilakukan dengan cara memasukan *fixture*, *pressure*, dan gaya yang bekerja sesuai dengan tekanan input beserta gaya hasil perhitungan.



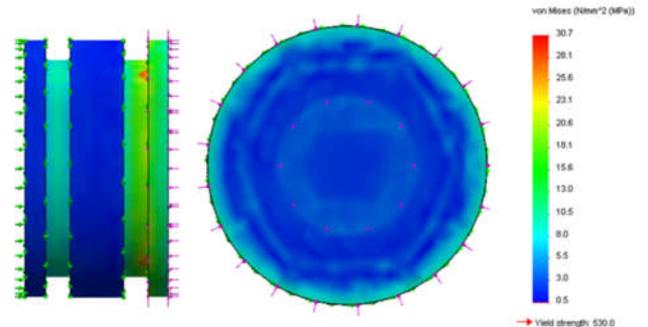
Gambar 4. Simulasi tegangan *tube* silinder langkah maju



Gambar 5. Simulasi tegangan *piston* langkah maju



Gambar 6. Simulasi tegangan *tube* silinder langkah mundur



Gambar 7. Simulasi tegangan *piston* langkah mundur

Berdasarkan simulasi gambar 4 dan 5 pada proses langkah maju piston terdapat sebaran tegangan-tegangan maksimal sebesar $62,9 \times 10^6$ N/m² pada area *chamfer* tube rata-rata tegangan diameter dalam piston $\varnothing 63$ mm sebesar $54,8 \times 10^6$ N/m², dan nilai terkecil sebesar 0 N/m² berada pada area belakang piston. Maka nilai maksimal pada simulasi $62,9 \times 10^6$ N/m² dibandingkan dengan hasil perhitungan sebesar $57,24 \times 10^6$ N/m² tidak terlalu besar, artinya hasil simulasi mendekati dengan aktual.

Berdasarkan simulasi gambar 6 dan 7 pada proses langkah mundur piston terdapat sebaran tegangan-tegangan maksimal sebesar $62,3 \times 10^6$ N/m² pada area *chamfer* tube rata-rata tegangan diameter dalam piston $\varnothing 63$ mm sebesar $55,3 \times 10^6$ N/m², dan nilai terkecil sebesar $0,1 \times 10^6$ N/m² berada pada area belakang piston. Maka nilai maksimal pada simulasi $62,9 \times 10^6$ N/m² dibanding-

kan dengan hasil perhitungan sebesar $57,24 \times 10^6$ N/m² tidak terlalu besar, artinya hasil simulasi mendekati dengan nilai aktual yang dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil tegangan pada *tube* silinder

Tegangan	Analisis (N/m ²)	Simulasi (N/m ²)
Tube langkah maju	$57,24 \times 10^6$	$62,9 \times 10^6$
Tube langkah mundur	$57,24 \times 10^6$	$62,3 \times 10^6$
Piston langkah maju	$5,72 \times 10^6$	$9,62 \times 10^6$
Piston langkah mundur	$5,03 \times 10^6$	$7,37 \times 10^6$

- [7] Mitutoyo General Catalogue, 2000. Mitutoyo Corporation, Japan.
- [8] Sealing Solutions, 2011. SKF Group, USA.
- [9] Hydraulic Seals – Linear, 2007. Trelleborg, United Kingdom.
- [10] Fluid Power Seal Design Guide, 2014. Parker, Salt Lake City, USA.

Kesimpulan

Kesimpulan yang diambil dari penelitian ini adalah :

1. Silinder *tube* bergesekan karena deviasi kesi-lindrisan yang besar yaitu 0,153 mm. Sedangkan standar *gap* adalah 0,13 mm (maksimal), maka itu penulis menyimpulkan bahwa akibat *scratch* pada dinding *tube* silinder penyebabnya adalah deviasi *gap* sebesar 0,153 mm.
2. Tegangan untuk piston dan *tube* silinder hidrolik didapat hasil yang dibawah dari nilai tegangan yang diijinkan dengan *pressure* 7,5 MPa tekanan inputnya.
3. Berdasarkan hasil dimensi dan toleransi dan analisa tegangan, kerusakan yang terjadi pada silinder hidrolik yang mengakibatkan *tube* silinder *scratch*, tidak ada pengaruhnya.

Referensi

- [1] Jayadi, 2009. Analisis Dimensi dan Toleransi pada Proses Rekondisi Silinder Hidrolik ARM PC1250 Pada Hydraulic Excavator PC1250, Skripsi Universitas Ibn Khaldun, Bogor.
- [2] Rochim, T., 1985. Spesifikasi, Metrologi dan Kontrol Kualitas, Penerbit ITB, Bandung.
- [3] Drake Jr., P.J., 1991. Dimensioning and Tolerancing Handbook, McGraw-Hill, USA.
- [4] ISO 10766, 2006. Hydraulic Fluid Power – Cylinders – Housing Dimensions for Rectangular Section Cut Bearing Rings and for Pistons and Rods, ISO publishing.
- [5] ISO 7425-1, 1998. Hydraulic Fluid Power – Housings for Elastomer-Energized, Plastic – Faced Seals – Dimensions and Tolerances, ISO publishing.
- [6] Hunt, T., 2000. Hydraulic Handbook 9th Ed., Elsevier Science Ltd., United Kingdom.