

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

M5-002 Pengaruh Pemasangan Twisted Tape Terhadap Perpindahan Panas dan Friction Factor dalam Laluan Bujursangkar

Ary Bachtiar Krishna Putra¹ dan Soo Whan Ahn²

1) Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS)
Kampus ITS Keputih Sukolilo 60111, Indonesia

Phone: +62-31-5946230, FAX: +62-31-5922941, E-mail: arybach@me.its.ac.id

2) School of Mechanical and Aerospace Engineering, Institute of Marine Industry,
Gyeongsang National University, Tongyong, Gyeongnam 650-160, Korea

ABSTRACT

Penelitian ini dilakukan untuk mengamati karakteristik perpindahan panas dan gesekan (friction factor) dari aliran udara dalam laluan tertutup bujursangkar (square channel) yang didalamnya berisi piringan terpuntir (twisted tape) dan rib. Pengujian eksperimental dilakukan untuk angka Reynolds yang bervariasi mulai dari 8900 sampai dengan 29000. Rib yang dipakai mempunyai rasio tinggi terhadap diameter hidrolik, e/D_h , sebesar 0.067, sedangkan bidang uji (test section) mempunyai rasio panjang terhadap diameter hidrolik, L/D_h , sebesar 30. Piringan terpuntir (twisted tape) tersebut terbuat dari lembaran carbon steel mempunyai tebal 0.1 mm dengan diameter 2.8 cm, panjang 900 cm, dan mempunyai puntiran sebesar 2.5 putaran. Square rib ditempatkan pada dinding sepanjang laluan twisted tape secara terpisah pisah. Dinding dari laluan bujursangkar (square channel) terbuat dari aluminium dengan permukaan disisi luar terisolasi. Dua tipe pemanasan yang dipakai : (1) keempat dinding dalam test section dipanasi oleh electric heater, dan (2) hanya dua dinding yang berhadap-hadapan yang dipanasi. Dari hasil eksperimental menunjukkan bahwa tipe pemanasan dua dinding memberikan peningkatan laju perpindahan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe keempat dinding dipanaskan, dan laluan persegi (square channel) dengan twisted tape dan rib didalamnya memberikan performan perpindahan panas yang terbaik.

Keywords: *perpindahan panas, friction factor, square channel, twisted tape, interrupted rib*

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

1. Pendahuluan

Meskipun berakibat pada peningkatan pressure drop, laluan dengan twisted tape dan rib turbulator banyak diaplikasikan secara luas di industry untuk meningkatkan perpindahan panas. Hal ini karena mudahnya proses instalasi pemasangan dan pembongkaran twisted-tape dalam pipa. Aplikasi di industry seperti misalnya water heater dan alat penukar kalor lainnya. Peningkatan perpindahan panas dalam tube yang dipasang twisted tape dipengaruhi oleh vertical flow yang sangat kompleks dan peningkatan kecepatan akibat adanya blockage pada pipa. Sedangkan rib turbulator bisa meningkatkan perpindahan panas pada aliran karena dapat merusak laminar sub-layer, meningkatkan turbulensi local disekitar dinding dan terjadinya reattachment diantara rib.

Penelitian mengenai pressure drop dan karakteristik perpindahan panas pada aliran berkembang penuh dalam pipa yang terpasang twisted tape telah dilakukan oleh beberapa peneliti (Smithberg and Landis, 1964; Lopina and Bergles, 1967; Hong and Bergles, 1976; Manglik and Bergles, 1993). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa twisted-tape bisa meningkatkan perpindahan panas yang signifikan tetapi juga berakibat pula pada peningkatan pressure loss. Besarnya koefisien perpindahan panas dan pressure loss pada pipa yang terpasang twisted-tape tergantung dari rasio diameter pitch-to-tube and bilangan Reynolds.

Bentuk spiral dari Twisted-tape mengakibatkan gerakan meliuk (swirling motion) dari udara, sehingga meningkatkan pressure drop tetapi juga dapat meningkatkan perpindahan panas dari swirling flow tersebut.

Sudah lama diketahui bahwa rib turbulator juga bisa diaplikasikan untuk meningkatkan perpindahan panas konveksi pada aliran fluida didalam laluan. Webb et al.(1971) and Gee et al.(1980) menunjukkan bahwa peningkatan perpindahan panas dan pressure drop didalam pipa dengan rib turbulator dipengaruhi bentuk konfigurasinya dan bilangan Reynolds. Ravigururajan and Bergles(1985) menemukan korelasi antara pressure drop dan perpindahan panas untuk aliran turbulent satu fase pada pipa dengan rib turbulator. Han(1988) , Han et al.(1992), Ahn et al.(in press) mengkaji karakteristik perpindahan panas dan gesekan dalam rectangular channel dengan rib turbulator. Dari hasil investigasi mereka dapat disimpulkan bahwa peningkatan perpindahan panas dan pressure drop tergantung dari geometri rib (tinggi dan spacing), angle of attack dan kondisi pemanasan.

Dengan mempertimbangkan pengaruh dari twisted tape dan rib turbulator yang signifikan pada perpindahan panas, Zhang et al.(1997) menggabungkan kedua teknik tersebut (twisted tape dan rib turbulators) untuk meningkatkan perpindahan panas aliran didalam pipa. Dari hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa laju perpindahan panas lebih meningkat jika menggunakan twisted tape dan interrupted rib bersama-sama dibandingkan jika hanya menggunakan satu persatu.

Beberapa permasalahan masih belum terpecahkan sehingga harus dianalisa lebih lanjut misalnya : hasil riset terdahulu hanya bisa digunakan untuk pipa sirkular. Padahal dalam kenyataannya bentuk laluan segi-empat (square channel) lebih banyak diaplikasikan daripada pipa sirkular (circular tube) (mis : turbine blade internal cooling passage). Tentunya akan menjadi pertanyaan apakah performan perpindahan panas pada laluan dalam bentuk pipa dan segi-empat (square channel) dengan dipasang twisted tape didalamnya akan sama. Aliran sekunder (secondary flow) yang dibangkitkan dari swirling motion karena adanya twisted tape tentunya akan berbeda karakteristiknya jika memakai laluan dalam bentuk pipa sirkular dan

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

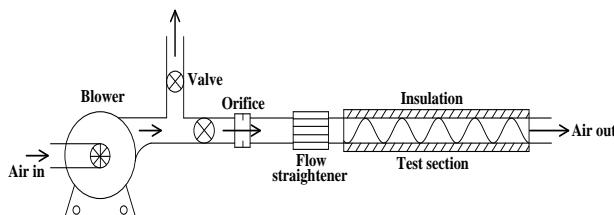
Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

pipa bujursangkar. Demikian pula dengan laju perpindahan panas pada laluan tersebut akan memberikan efek yang berbeda jika menggunakan pipa sirkular dan pipa bujursangkar.

Tujuan dari penelitian kali ini adalah untuk menginvestigasi pengaruh dari twisted tape secara terpisah dan jika dikombinasikan dengan interrupted rib pada distribusi perpindahan panas dalam laluan bujursangkar (square channel). Dengan bilangan Reynolds divariasikan mulai dari 8000 sampai 29000. Distribusi dari perpindahan panas rata-rata regional dan rata-rata total pada laluan bujursangkar akan dibandingkan dengan penelitian penelitian terdahulu .

2. Peralatan Experimental

Peralatan-peralatan eksperimen yang akan digunakan ditunjukkan pada gambar 1. Komponen utama dari fasilitas eksperimen terdiri dari blower, orifice flow meter, entrance channel dan test section. Sebuah gate valve dipasang pada pipa cabang yang digunakan untuk



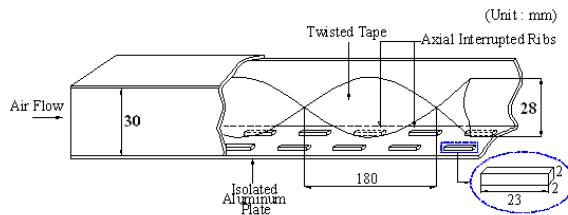
Gambar 1 Schematic diagram of experimental setup

mengatur aliran udara. Blower sebesar 0.86 kW mengalirkan udara pada pipa utama dan orifice meter dan kemudian melalui straightener, entrance channel dan test section. Setelah itu udara dibuang ke lingkungan melalui bagian ujung dari test section.

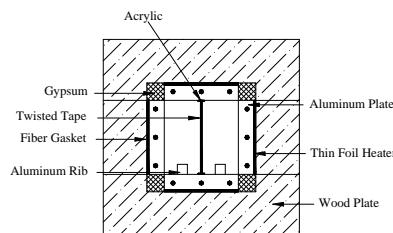
Laluan bujursangkar untuk test section mempunyai dimensi 3 cm x 3 cm. Flowrate dari udara diukur setelah melalui orifice, setelah itu melalui laluan laluan bujursangkar sepanjang $L_b = 135$ cm dan kemudian melalui test channel yang dipanasi dengan panjang $L = 90$ cm. Bentuk dari laluan bujursangkar yang dipasang twisted tape dan axial interrupted rib ditunjukkan pada gambar 2. Twisted tape terbuat dari baja karbon dengan tebal 0.1 mm, diameter $D = 2.8$ cm dan panjang 90 cm. Twisted tape ini dipasang sepanjang test channel dan mempunyai bentuk 2.5 putaran dan diisolasi pada permukaan yang menyentuh dinding laluan untuk mencegah kehilangan panas konduksi dari jajaran tape dan dinding aluminium. Dimensi dari axial interrupted rib adalah 2 mm x 2 mm x 23 mm. Jarak antar rib adalah 23 mm kearah aksial dan 15 cm melintang. Interrupted rib ditempelkan secara periodic pada dinding bawah dari test section. Lembaran kayu tipis (tebal 0.2 mm) ditempatkan antar plat aluminium searah aksial dari test section. Lembaran stainless foil heater (0.1 mm thick) dipasang pada sisi bawah plat aluminium. Foil heater dikoneksikan dengan dengan transformator untuk mengendalikan pemanasan yang uniform pada test section. Dua kondisi pemanasan yang dipakai pada penelitian kali ini yaitu: (1) pemanasan yang uniform pada keempat dinding dari laluan bujursangkar (square duct) dan (2) pemanasan uniform hanya pada 2 dinding yang berhadapan. Untuk model pemanasan pada keempat dinding dipakai sebagai referen.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009



Gambar 2 Square test channel with twisted tape insert plus axial ribs



Gambar 3 Details of cross test section

Laluan masuk (smooth entrance duct) yang tidak dipanasi terbuat dari plexiglass dan mempunyai dimensi yang sama dengan test section. Unheated smooth entrance duct ini digunakan agar aliran udara yang akan memasuki test section sudah dalam kondisi hydrodynamically fully developed flow. Untuk mengukur suhu permukaan local pada masing-masing dinding dari test section dipakai copper-constantan thermocouples yang terdistribusi sepanjang plat aluminium pada masing-masing dinding. Termocouple ini ditempelkan pada permukaan luar dari plat aluminium. Satu thermocouples dipasang pada sisi masuk dan 3 termocouples dipasang pada sisi keluar dari test section untuk mengukur temperature udara rata-rata sisi masuk dan keluar test section. Untuk dapat merekam dan mengelola data didalam computer maka digunakan Hybrid Data Logger 48 channel.

3. Data Reduksi

Koefisien konveksi regional dari permukaan luar dinding test section dihitung dari besarnya perpindahan panas regional total per unit surface area dari permukaan dinding ke udara pendingin, temperature local dari masing-masing dinding, dan temperature bulk rata-rata local dari udara pendingin:

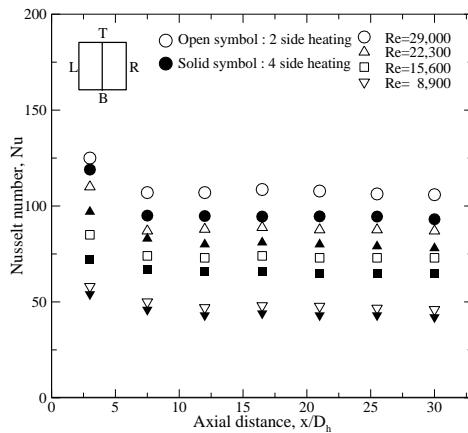
$$h = \frac{q - q_{loss}}{A(T_w - T_b)} \quad (1)$$

Laju perpindahan panas regional total (q) yang dibangkitkan dari heater stainless dapat dihitung dari pengukuran resistance dan arus ($q=I^2 R$) pada tiap-tiap sisi dinding dari test section. Kerugian panas

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

(q_{loss}) ditentukan secara eksperimental dengan memberikan suplai daya listrik pada test section hingga tercapai kondisi steady tanpa adanya aliran. Hal ini dilakukan dengan variasi daya listrik yang diberikan untuk mendapatkan korelasi antara besarnya kerugian panas pada tiap dinding dengan temperature permukaan dinding. Hasil perhitungan menunjukkan kerugian panas yang terjadi sebesar 5% dari daya input untuk bilangan Reynolds diatas 10,000. Dan



Gambar 4 Local Nusselt numbers

diketahui bahwa foil heater mampu memberikan heat flux yang merata diseluruh test section. Temperatur udara rata-rata bulk yang digunakan pada pers. (1) dihitung dengan asumsi peningkatan temperatur udara secara linier sepanjang duct. Temperatur udara rata-rata bulk local dihitung dengan persamaan :

$$T_{b,i} = T_{in} + \sum (q - q_{loss}) / m c_p \quad (2)$$

Dengan temperatur udara masuk (T_{in}) dan akumulasi jumlah imput panas dari test duct inlet sampai ke posisi ke- i . Pers.(2) menghitung temperatur udara local bulk (T_b) pada posisi ke- i . Temperatur rata-rata udara masuk sekitar $21-28^\circ\text{C}$ dan temperatur dinding sekitar $50-60^\circ\text{C}$, tergantung dari kondisi pengujian. Regionally averaged Nusselt number dibagi dengan Nusselt number untuk aliran turbulent berkembang penuh (fully developed turbulent flow) didalam smooth circular tubes oleh Dittus- Boelter dituliskan sebagai berikut:

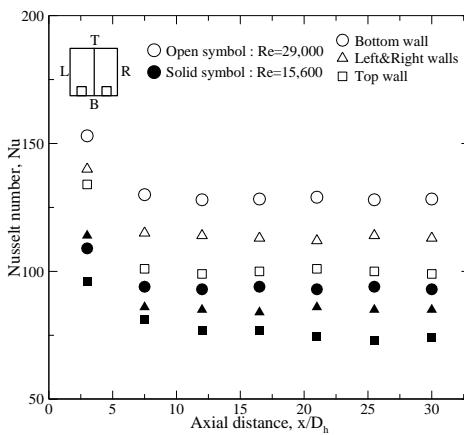
$$\frac{Nu}{Nu_o} = \frac{hD_h / k}{0.023Re^{0.8}Pr^{0.4}} \quad (3)$$

Standard deviasi untuk kecepatan bulk udara sekitar $\pm 4\%$, dan maximum uncertainty pada laju perpindahan panas (\dot{Q}) adalah sekitar $\pm 6.2\%$. Sehingga maximum uncertainty untuk koefisien konveksi adalah sekitar $\pm 8.9\%$ pada $Re=19,100$. Perhitungan uncertainty didasarkan pada prosedur yang ditemukan

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

oleh Kline and McClintock(1953). Hasil perhitungan untuk bilangan Reynolds dan friction factor adalah sekitar $\pm 5.9\%$ dan $\pm 9.7\%$.



Gambar 5 Local Nusselt numbers in the 4 side heating channel

3. Hasil dan Diskusi

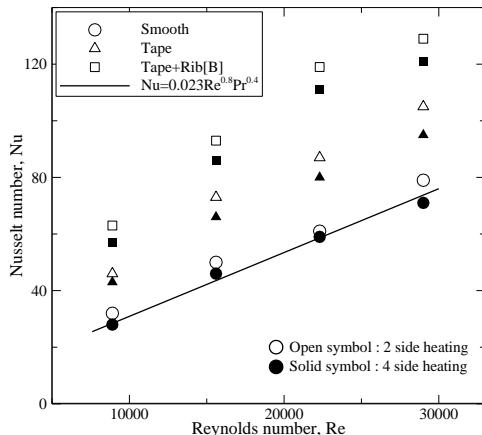
Gambar. 4 menunjukkan Nusselt numbers local pada smooth channel yang menggunakan twisted tape dengan kondisi pemanasan dua dinding berhadapan dan keempat dinding dipanasi. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa metode pemanasan untuk dua dinding yang berhadapan memberikan angka Nusselt (Nusselt number) yang lebih tinggi daripada keempat dinding dipanasi. Hal ini karena pengaruh dari udara dingin disekitar dinding yang tidak terpanasi bercampur dengan udara panas disekitar dinding yang terpanasi, sehingga memberikan koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi. Pengaruh dari perubahan bilangan Reynolds terhadap angka Nusselt pada metode pemanasan dua dinding berhadapan lebih tinggi dibandingkan dengan metode keempat dinding dipanasi. Besarnya angka Nusselt untuk metode dua dinding dipanasi 1.08 sampai 1.19 kali lebih tinggi dibandingkan dengan metode keempat dinding dipanasi pada bilangan Reynolds yang sama. Angka Nusselt local berkurang pada x/D_h meningkat dan hampir konstan pada $x/D_h = 7$.

Gambar 5 memperlihatkan distribusi angka Nusselt pada dinding atas, dinding kiri dan kanan, serta dinding dari test section dengan twisted tape dan rib turbulator. Angka Nusselt pada dinding bawah lebih tinggi sekitar 16 sampai 27% dibandingkan dengan ketiga dinding lainnya pada bilangan Reynolds 29,000. Angka Nusselt yang lebih tinggi pada dinding bawah dengan rib karena adanya peningkatan turbulensi pada aliran akibat adanya rib yang memecah perkembangan lapisan batas thermal (thermal boundary layer).

Gambar 6 membandingkan besarnya angka Nusselt untuk kondisi smooth channel, smooth channel dengan twisted tape dan smooth channel dengan twisted tape dan rib. Laluan dengan twisted tape plus rib memberikan.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009



Gambar 6 Average Nusselt numbers

angka Nusselt yang paling besar.

Twisted tape dapat membangkitkan gerakan swirling dari udara didalam square channel. Sehingga gaya sentrifugal yang dilapiskan diatasnya atas aliran utama longitudinal menghasilkan secondary motion dalam channel. Efek dari perubahan pada bidang aliran ini adalah penambahan pressure drop dan peningkatan perpindahan panas. Interrupted ribs juga berlaku sebagai turbulence promoters pada aliran utama. Maka gabungan twisted tape dengan rib bisa meningkatkan turbulensi local secondary motion.

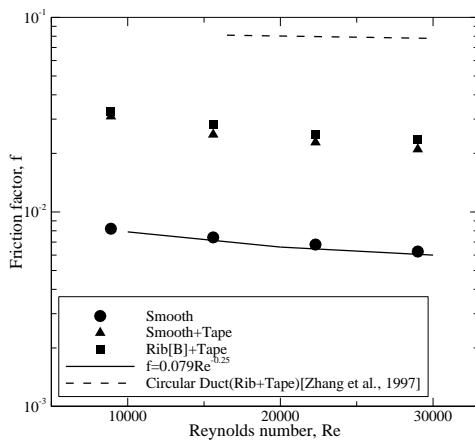
Korelasi empiris oleh Dittus and Boelter (1927) untuk smooth channel juga ditampilkan sebagai pembanding. Dari gambar 6 juga membuktikan bahwa hasil eksperimental penelitian ini pada smooth channel dengan seua dinding dipanasi mendekati angka yang diberikan oleh korelasi dari Dittus and Boelter (1927).

Gambar 7 memperlihatkan hasil eksperimental untuk friction factor rata-rata pada smooth channel. Laluan dengan twisted tape dan laluan dengan twisted tape plus rib pada dinding bawah divariasikan terhadap bilangan Reynolds mulai dari 8,900 sampai 29,000. Persamaan empiris untuk smooth channel oleh Blasius juga disertakan sebagai pembanding. Hasil pengujian smooth channel untuk penelitian ini memperlihatkan nilai yang hampir sama dengan korelasi Blasius dengan selisih sekitar 2.5%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa friction factor akan berkurang dengan bertambahnya bilangan Reynolds karena kecepatan fluida akan meningkat lebih tinggi (pangkat dua) dibandingkan dengan wall shear stress dengan meningkatnya Reynolds number.

Laluan yang menggunakan twisted tape dan rib pada dinding bawah mempunya nilai friction factor yang paling tinggi dibandingkan dengan model yang lain. Hal ini karena flow resistance yang lebih besar karena penambahan rib turbulator menyebabkan semakin

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009



Gambar 7 Friction factors

tingginya friction factor. Data eksperimen dari Zhang et al.(1997) untuk smooth tube dengan twisted tape juga diikutkan sebagai pembanding. Dimana hasil yang didapatkan oleh Zhang et al.(1997) lebih tinggi sekitar 3.6 kali jika dibandingkan dengan hasil pada penelitian ini pada bilangan Reynolds sebesar 29,000. Hal ini terjadi karena adanya corner effect dari square channel. Bidang aliran dalam square channel dengan adanya twisted tape karena munculnya secondary flow pada sudut sudut channel. Aliran terjebak pada keempat sudut dan menyebabkan corner vortices. Hal ini dapat menyebabkan pressure drop yang lebih rendah pada square channel dibandingkan circular tube. Interrupted ribs menghasilkan koefisien konveksi yang lebih tinggi dan juga friction factor. Selain itu interrupted rib menginduksi flow separation dan reattachment menyebabkan terjadinya flow separation relative terhadap swirl flow yang diakibatkan adanya twisted tape. Kombinasi dari swirl flow dan turbulence secondary flow menghasilkan peningkatan dari pressure drop.

4. Kesimpulan

- 1) Besarnya angka Nusselt untuk metode pemanasan dua dinding berhadapan adalah sekitar 1.08 to 1.19 kali lebih tinggi dibandingkan dengan dengan keempat dinding dari smooth channel dengan twisted tape dipanasi pada nilai Reynolds yang sama.
- 2) Untuk test section dengan penambahan ribs dan twisted tape, angka Nusselt pada dinding bawah adalah sekitar 16 and 27 % lebih tinggi dibandingkan smooth wall (kiri, kanan dan atas) pada bilangan Reynolds 29,000.
- 3) Friction factor untuk smooth circular tube dengan twisted tape adalah sekitar 3.6 lebih tinggi daripada smooth square channel dengan twisted tape pada Reynolds number 29,000.
- 4) Laluhan (square channel) dengan twisted tape dan interrupted ribs menghasilkan overall heat transfer yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan twisted tape tanpa ribs.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

References

- [1] Smithberg, E. and Landis, F., *Friction and forced convection heat transfer characteristics in Tubes with Twisted tape swirl generators*, ASME Journal of Heat Transfer, Feb. (1964) 39-49.
 - [2] Lopina, R. F. and Bergles, A. E., *Heat transfer and pressure drop in tape generated swirl flow*, MIT Dept. of Mechanical Engineering Report, No. DSR 70281-47. 1967.
 - [3] Hong, S. W. and Bergles, A. E., *Augmentation of laminar flow heat transfer in tubes by means of twisted tape inserts*, ASME Journal of Heat Transfer, May (1976) 251-256.
 - [4] Manglik, R. M. and Bergles A. E., *Heat transfer and pressure drop correlations for twisted tape inserts in Isothermal tubes: Part 2- Transition and turbulent flows*, ASME Journal of Heat Transfer Vol. 115, No. 4, (1993) 890-896.
 - [5] Usui, H., Sano, Y. and Iwashita, K., *Heat transfer enhancement effects by combined use of internally grooved rough surfaces and twisted tapes*, Heat Transfer - Jananese Research, Vol. 13, No. 4, (1984) 19-32.
 - [6] Sethumadhavan, R. and Raja Rao, M., *Turbulent flow friction and heat transfer characteristics of single- and multi-start spirally enhanced tubes*, Journal of Heat Transfer, Vol. 108, (1986) 55-61.
 - [7] Webb, R. L., Eckert, E. R. G. and Goldstein, R. J., *Heat transfer and friction in tubes with repeated-rib roughness*, Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol. 14, (1971) 601-617.
 - [8] Gee, D. L. and Webb, R. L., *Forced convective heat transfer in helically rib-roughened tubes*, Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol. 23, (1980) 1127-1136.
 - [9] Han, C. J., Heat transfer and friction characteristics in rectangular channels with rib turbulators, ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 110, (1988) 321-328.
 - [10] Han, C. J. and Zhang Y. M., *High Performance heat transfer ducts with parallel broken and V-shaped broken ribs*, Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol. 35, (1992) 513-523.
 - [11] Zhang, Y. M., Han C. J. and Lee, C. P., *Enhanced Heat Transfer and friction characteristics of turbulent flow in circular tubes with twisted tape inserts and axial interrupted ribs*, Journal of enhanced Heat Transfer, Vol. 4, No. 4, (1997) 297-308
 - [12] Kline, S.J. and McClintock, F.A., *Describing Uncertainties in Single Sample Experiments, Mechanical Engineering*, Vol. 75, (1953) 3-8.
 - [13] Ahn, S. W., Kang, H. K., Bae, S. T., Lee, D. H., *Heat transfer and friction factor in a square channel with one, two, or four ribbed walls*, ASME J. of Turbomachinery, in press.
-