



LAPORAN PENELITIAN

**PENGUKURAN INTENSITAS TURBULENSI
ALIRAN UDARA DALAM BERKAS TABUNG**

Oleh:

Ir. Bambang Yuniyanto, MSc
Ir. Berkah Fajar T.K, Dipl.Eng
Ir. Eflita Yohana

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
1997**

DIBIYAI OLEH PROYEK PENGKAJIAN DAN PENELITIAN ILMU PENGETAHUAN TERAPAN SESUAI DENGAN SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN PENELITI MUDA NOMOR : 034/P2IPT/DPPM/LITMUD//V/1996, DIREKTORAT PEMBINAAN PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT, DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI, DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN.

LEMBAR PENGESAHAN

1. a. Judul penelitian : Pengukuran Intensitas Turbulensi aliran udara dalam berkas tabung.
b. Bidang ilmu : Teknik.
c. Kategori : Pengembangan IPTEK.
2. Ketua peneliti
a. Nama lengkap : Ir. Bambang Yunianto, MSc.
b. Jenis kelamin : Laki-laki.
c. Golongan/NIP : IIIb/131668514
d. Jabatan fungsional : Asisten ahli.
e. Fakultas/Jurusan : Teknik/Mesin
f. Pengalaman : Terlampir
3. Susunan tim peneliti
jumlah anggota : 2 orang
1. Ir. Berkah Fajar T.K, Dipl.Eng
2. Ir. Eflita Yohana.
4. Lokasi penelitian : Teknik Mesin UNDIP
5. Lama penelitian : 8 bulan
6. a. Biaya penelitian : Rp 3.000.000 ,-
(tiga juta rupiah)
b. Sumber dana : Proyek Berbagai Bidang Ilmu (BBI) 1995/1996

Semarang, 8 - Januari - 1997

Menyetujui

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro

Prof. Ir. Eko Budihardjo, MSc
N I P. 130 354 860

Ketua Peneliti

Ir. Bambang Yunianto, MSc
N I P 131 668 514



Mengetahui
Lembaga Penelitian UNDIP

Dr. dr. Satoto
NIP. 130 368 071

RINGKASAN.

Penukar kalor berkas tabung adalah jenis penukar kalor yang banyak digunakan di unit-unit mesin. Penelitian performansi penukar kalor ini masih selalu dikembangkan, yang tujuannya untuk mendapatkan unit yang kompak tetapi tetap mempunyai performansi yang tinggi. Konfigurasi berkas tabung mempunyai pengaruh terhadap besar koefisien perpindahan panas. Konfigurasi silang (staggered) akan berbeda dengan konfigurasi segaris (in line), demikian juga jarak antar tabung dalam arah searah ataupun tegak lurus arah aliran akan menghasilkan performansi yang berbeda, baik terhadap laju perpindahan panas ataupun penurunan tekanan dalam berkas. Pemilihan tipe konfigurasi selalu mengacu pada pertimbangan ekonomi atau semata-mata pada performansi alat penukar kalor. Kompromi antara segi ekonomi dan performansi adalah tergantung dari tujuan penggunaan alat dan pengguna alat penukar kalor tersebut.

Performansi perpindahan panas aliran fluida lewat berkas, disamping dipengaruhi konfigurasi berkas juga terutama ditentukan oleh tingkat turbulensi aliran. Tingkat turbulensi aliran umumnya selalu ditumbuhkan oleh adanya peningkatan kecepatan aliran. Sehingga dalam memperhitungkan peningkatan laju perpindahan panas parameter kecepatan yang dinyatakan dalam angka Reynold merupakan faktor dominan. Disini tidak ditinjau seberapa besar pengaruh tingkat turbulensi aliran untuk setiap kecepatan tertentu. Meskipun pada kecepatan yang sama dimungkinkan terdapat tingkat turbulensi yang berbeda tergantung tingkat hambatan yang ada pada aliran tersebut.

Seperti tingkat turbulensi aliran pada baris 1 cenderung akan

berbeda dengan baris-baris yang lain. Hal ini karena baris baris tabung merupakan penghambat aliran sekaligus sebagai pemacu turbulensi yang pada masing-masing baris akan berbeda besarnya walaupun pada kecepatan aliran yang sama. Parameter tingkat turbulensi ini belum banyak dimasukkan sebagai salah satu faktor untuk perhitungan laju perpindahan panas dalam berkas. Karena pada kenyataan turbulensi aliran akan mempengaruhi laju perpindahan panas, maka pengaruh tingkat turbulensi pada berkas ini perlu dimasukkan dalam kajian. Untuk itulah penelitian untuk mengetahui besar tingkat turbulensi aliran dalam berkas perlu diteliti, sebagai data masukan untuk menganalisis pengaruh tingkat turbulensi dalam berkas terhadap laju perpindahan panas.

Untuk mencari hubungan perpindahan panas dengan tingkat turbulensi aliran, beberapa tahap penelitian perlu dilakukan yaitu,

1. Pengukuran laju perpindahan panas dalam berkas pada setiap baris.
2. Pengukuran distribusi tekanan pada permukaan tabung pada setiap baris dalam berkas.
3. Pengukuran intensitas turbulensi aliran dalam berkas pada setiap baris.

Mengingat keterbatasan waktu dan dana maka penelitian ini, saya mulai dulu pengukuran intensitas turbulensi sebagai penelitian awal dari ketiga rangkaian penelitian yang saling berkaitan.

Dalam melakukan pengukuran, digunakan berkas tabung yang terdiri dari enam baris yang masing-masing terdiri dari tiga tabung. Jarak antar tabung dalam arah searah ataupun tegak lurus arah aliran dibuat sama yaitu 9 cm atau $2 \times$ diameter tabung ($d = 4.5$ cm). Berkas tabung ditempatkan dalam box dengan tinggi 30 cm. Box ini dimasukkan dalam seksi uji terowongan angin siklus tertutup dengan penampang 30 x 30 cm. Udara masuk dipertahankan pada

temperatur tetap 20 C dengan melewati udara dalam pengatur suhu. Pengukuran kecepatan aliran bebas masuk berkas digunakan Manometer air mikro Schilknecht yang mempunyai tingkat kepekaan pembacaan hingga 0,1 mm kolom air. Dari data Manometer ini digunakan untuk menghitung kecepatan aliran bebas masuk berkas. Sedang untuk mengukur kecepatan rata-rata ataupun kecepatan sesaat aliran dalam berkas digunakan Anemometer kawat panas type probe tunggal.

Penempatan probe kawat panas terletak diantara tabung-tabung dalam berkas dan secara bergantian dipasang pada baris-baris berikutnya. Anemometer kawat panas dihubungkan dengan perangkat keras yang dilengkapi perangkat lunak yang dibuat oleh DANTEC yang disebut DANTEC AQWIRE PROGRAM. Hasil pengukuran dari unit peralatan ini terutama adalah besar kecepatan rata-rata dan kecepatan fluktuasi. Dari dua data ini yang kita perlukan untuk menghitung besar intensitas turbulensi aliran pada setiap posisi dalam berkas.

Pengukuran dilakukan pada baris 1 hingga baris ke 5 dengan julat angka Reynold 10.000 , 36.000 dan 64.000. Dari hasil pengukuran dapat diketahui bahwa makin tinggi angka Reynold, perubahan intensitas turbulensi tidak begitu nampak atau cenderung tetap. Namun perubahan intensitas turbulensi lebih banyak dipengaruhi oleh posisi baris. Pada baris pertama cenderung kecil, kemudian meningkat cukup tajam pada baris kedua dan ketiga. Kemudian pada baris ke empat dan ke lima cenderung kembali menurun. Jadi dari hasil pengukuran diperoleh, intensitas turbulensi tertinggi adalah pada baris ke tiga.

DAFTAR ISI

Lembar judul.....	i
Lembar pengesahan.....	ii
Ringkasan.....	iii
Daftar isi.....	vi
Tata nama.....	vii
Daftar Gambar.....	viii
I. PENDAHULUAN	
I.1. Latar belakang.....	9
I.2. Perumusan masalah.....	12
I.3. Tujuan peneltitan.....	12
I.4. Sistematika penulisan.....	13
II. DASAR TEORI	
II.1. Pendahuluan.....	14
II.2. Intensitas turbulensi.....	18
II.3. Anemometer kawat panas.....	21
III. METODE PENELITIAN	
III.1. Model dan seting peralatan.....	23
III.2. Pengukuran kecepatan aliran.....	25
III.3. Pengolahan data pengukuran.....	28
IV. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN.....	30
V. KESIMPULAN.....	39
DAFTAR PUSTAKA.....	40
LAMPIRAN.....	41

TATA NAMA

D, d	: diameter (cm)
h	: koefisien perpindahan panas konveksi ($W/^{0}Cm$)
Nu	: bilangan tanpa dimensi Nusselt
Pr	: bilangan tanpa dimensi Prandtl
Re	: bilangan tanpa dimensi Reynold
R_e	: reostat (tahanan) listrik (Ohm)
S_1	: jarak antar tabung melintang (cm)
S_2	: jarak antar tabung memanjang (cm)
Tu	: intensitas turbulensi
u'	: fluktuasi kecepatan dalam arah x (m/dt)
v'	: fluktuasi kecepatan dalam arah y (m/dt)
w'	: fluktuasi kecepatan dalam arah z (m/dt)
U	: kecepatan sesaat (m/dt)
\bar{U}	: kecepatan rata-rata (m/dt)
V	: jatuh tegangan (volt)

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1.....Pola aliran melewati tabung tunggal
- Gambar 2.2.....Pola aliran melewati berkas tabung
- Gambar 2.3.....Laju panas rata-rata aliran lintang melewati tabung tunggal
- Gambar 2.4.....Laju panas lokal sebagai fungsi T_u
- Gambar 2.5.....Hubungan kecepatan sesaat terhadap periode
- Gambar 2.6.....Rangkaian kawat panas dalam jembatan Wheastone
- Gambar 3.1.....Terowongan angin siklus tertutup
- Gambar 3.2.....Kotak dan berkas tabung
- Gambar 3.3.....Posisi instrumen (kawat panas) dalam berkas
- Gambar 3.4.....Kalibrasi kawat panas (kecepatan - tegangan)
- Gambar 4.1.....Posisi kawat panas diantara dua tabung
- Gambar 4.2..... Distribusi kecepatan dalam berkas tabung
- Gambar 4.3..... Intensitas turbulensi, T_u dalam berkas tabung
- Gambar 4.4..... Sejarah waktu kecepatan

I. PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Pada mesin-mesin panas, peran alat penukar panas sangat penting dalam hubungannya dengan performansi suatu unit mesin. Dari bermacam-macam jenis alat penukar panas, jenis berkas tabung merupakan jenis yang paling banyak digunakan untuk kapasitas menengah hingga besar. Mengingat pentingnya alat penukar panas berkas tabung dalam dunia industri, maka penelitian performansi alat penukar panas jenis ini masih menjadi objek penelitian dan pengembangan.

Banyak peneliti telah bekerja pada bidang ini dan telah banyak pula formula-formula empiris yang dihasilkan dan dimanfaatkan dalam industri. Namun bukan berarti bahwa penelitian ini telah selesai, sebab untuk desain suatu alat yang baik, harus tersedia data-data penelitian yang lengkap dengan meninjau banyak parameter.

Parameter-parameter yang dipakai hingga sekarang umumnya adalah, kecepatan aliran, jenis fluida, temperatur fluida, yang secara singkat dapat dinyatakan dalam bilangan non dimensi angka Reynold dan angka Prandlt. Dari berbagai formula empiris yang sudah ada, makin tinggi angka Reynold untuk fluida tertentu, maka makin besar pula angka perpindahan panas konveksinya. Hal ini terutama disebabkan, dengan meningkatnya kecepatan fluida (angka Reynold), maka akan terjadi peningkatan turbulensi aliran dalam fluida. Dengan peningkatan turbulensi aliran, maka perpindahan energi (panas) akan meningkat pula.

Peningkatan turbulensi aliran, disamping dengan meningkatkan kecepatan aliran, dapat pula ditumbuhkan dengan menggunakan pembangkit turbulensi (turbulence promotor) yang dapat berupa kisi-kisi yang dipasang didalam aliran. Pada susunan berkas tabung, maka tabung-tabung tersebut dapat pula berfungsi sebagai pembangkit turbulensi. Tabung-tabung yang saling berdekatan ini akan saling mengganggu jalannya aliran. Tingkat gangguan ini tergantung dari posisi tabung dalam berkas terhadap aliran masuknya.

Tabung-tabung pada baris pertama, gangguan aliran yang terjadi hanya ditimbulkan oleh tabung-tabung yang bersebelahan, sehingga turbulensi yang terjadi relatif paling kecil. Pada tabung-tabung baris berikutnya, disamping gangguan aliran yang ditimbulkan oleh tabung-tabung yang disebelahnya, juga ditimbulkan oleh tabung-tabung didepannya. Akibatnya turbulensi yang terjadi lebih besar dari pada baris didepannya. Demikian seterusnya turbulensi aliran cenderung meningkat untuk baris-baris berikutnya, hingga pada baris dimana turbulensi sudah cenderung menurun dan akhirnya konstan. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat gangguan aliran dari tabung-tabung ini makin melemah. Nomer baris dimana turbulensi sudah konstan, umumnya sudah tercapai pada baris ke 4 dan seterusnya, tetapi juga tergantung dari jenis fluidanya.

Hubungan antara tingkat turbulensi dengan laju perpindahan panas dalam berkas hingga kini belum banyak diketahui. Sehingga dalam menghitung besar angka perpindahan panas, parameter tingkat turbulensi ini belum dimasukkan dalam perhitungan. Namun untuk aliran lewat tabung tunggal telah diperoleh data-data dan juga formulasinya, hubungan antara koefisien perpindahan panas konveksi dengan intensitas turbulensi pada berbagai angka Reynold. Didapat suatu hubungan, pada angka Reynold tertentu, makin tinggi

intensitas turbulensi aliran, makin tinggi pula koefisien perpindahan panasnya.

Dengan menganalogikan untuk kasus aliran lewat tabung tunggal, maka koefisien perpindahan panas dalam berkas tabung juga akan meningkat dengan meningkatnya intensitas turbulensinya. Dengan penelitian ini dapat diharapkan data-data yang mendukung prediksi tersebut, sekaligus menambah data-data penelitian, tingkat turbulensi aliran dalam berkas tabung yang masih sedikit.

Untuk dapat diperolehnya data-data hubungan antara laju perpindahan panas dan intensitas turbulensi, perlu dilakukan serangkaian penelitian berikut.

1. Pengukuran laju perpindahan panas dalam berkas tabung untuk setiap baris.
2. Pengukuran distribusi tekanan pada permukaan tabung pada setiap baris.
3. Pengukuran intensitas turbulensi aliran dalam berkas untuk setiap baris.

Pengukuran 2) dan 3) untuk mengkaji pola aliran dalam setiap baris dalam berkas dan bagaimana menganalisis hubungannya dengan laju perpindahan panas pada setiap baris. Sedang pengukuran 3) untuk mengetahui besar koefisien perpindahan panas untuk masing-masing baris dan selanjutnya untuk mengetahui harga rata-rata seluruh berkas. Mengingat keterbatasan waktu dan dana, maka penelitian ini saya mulai dulu pengukuran intensitas turbulensi sebagai penelitian awal dari ke tiga rangkaian penelitian yang saling berkait.

I.2. PERUMUSAN MASALAH

Hubungan laju perpindahan panas dengan intensitas turbulensi untuk aliran lewat tabung tunggal sudah diperoleh data-data dan formulasinya. Namun untuk kasus aliran lewat berkas tabung, hubungan ini belum didapat formulasinya. Ini disebabkan masih sedikitnya penelitian pengukuran intensitas turbulensi dalam berkas tabung yang digunakan untuk mencari hubungan antara intensitas turbulensi dengan laju perpindahan panas.

Penelitian perpindahan panas dalam berkas tabung sudah banyak dilakukan, namun belum dikaitkan dengan besar kecilnya intensitas turbulensi aliran dalam berkas. Dengan penelitian pengukuran intensitas turbulensi dalam berkas, diharapkan dapat melengkapi data-data pengujian perpindahan panas dalam berkas. Dengan kelengkapan data ini dapat menambah satu parameter lagi dalam perancangan alat penukar kalor yaitu intensitas turbulensi.

I.3. TUJUAN PENELITIAN

Melihat permasalahan yang diuraikan diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengukur intensitas turbulensi aliran udara dalam berkas tabung. Pengukuran dilakukan dari baris ke 1 hingga ke 5.
2. Mendapatkan data-data awal sebagai dasar penelitian berikutnya, yaitu mencari hubungan antara intensitas turbulensi dengan laju perpindahan panas dalam berkas.

I.4. SISTIMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan terdiri dari 5 bab, yaitu;

- BAB I. Berisi pendahuluan, yang menjelaskan tentang latar belakang pentingnya penelitian ini dilakukan, perumusan masalah dan tujuan penelitian.
- BAB II. Dasar teori, yang menjelaskan dasar-dasar teori perpindahan panas dalam berkas, faktor-faktor yang mempengaruhi laju perpindahan panas, hubungan intensitas turbulensi dengan laju perpindahan panas dan hasil-hasil pengujian yang telah ada.
- BAB III. Metodologi penelitian, menjelaskan metode penelitian yang dilakukan, setting peralatan, kalibrasi alat ukur dan pengambilan data.
- BAB IV. Hasil penelitian dan pembahasan, menyajikan data-data pengujian dan menganalisis / membahas.
- BAB V. Kesimpulan, menyimpulkan hasil penelitian .