

LAPISAN BATAS EKSPERIMENTAL BEBERAPA PERMUKAAN BENDA PADAT

ABSTRAK

Analisis eksperimental dapat dikembangkan dalam mengamati visualisasi aliran pada permukaan suatu benda (aliran eksternal) seperti pada permukaan pelat datar. Aliran partikel-partikel fluida yang berada di sekitar permukaan pelat datar tersebut akan bergerak lambat akibat gaya viskos. Interaksi gerakan partikel fluida dapat meningkatkan gaya atau tegangan geser. Lapisan fluida yang kecepatannya dipengaruhi oleh tegangan geser batas akibat viskositas disebut dengan lapisan batas (*boundary layer*).

Aplikasi teori lapisan batas banyak diterapkan dalam perhitungan gesekan, kecepatan aliran dan distribusi temperatur fluida pada permukaan benda yang dilewati fluida seperti pada pelat datar, profil aerofoil, sudu turbin, cerobong asap atau saluran buang industri dan sebagainya.

Pada penelitian ini dilihat fenomena visualisasi aliran dengan mengijeksikan tinta dan direkam melalui sebuah kamera. Dilakukan pengukuran distribusi temperatur aliran air pada permukaan pelat datar dengan menggunakan sensor termokopel. Selanjutnya dengan mengetahui distribusi temperaturnya, dihitung tebal lapisan batas kecepatan dan termal aliran air pada permukaan pelat datar tersebut. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh hasil tebal lapisan batas kecepatan dan termal mendekati nilai teoritiknya sebesar 71,4 %.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Fluida yang mengalir pada suatu permukaan benda, baik aliran tersebut laminar maupun turbulen, maka partikel-partikel fluida di sekitar permukaan akan bergerak lambat akibat gaya viskos. Partikel-partikel fluida yang berdekatan ke permukaan menempel pada permukaan tersebut dan kecepatannya adalah nol relatif terhadap batas. Partikel fluida yang lain berusaha untuk bergerak lambat di atas partikel yang relatif diam tersebut sebagai akibat interaksi antara gerakan fluida yang lebih cepat dan fluida yang lebih lambat. Hal ini merupakan fenomena yang dapat meningkatkan gaya atau tegangan geser. Lapisan fluida yang kecepatannya terpengaruh oleh tegangan geser batas akibat viskositas disebut lapisan batas (*boundary layer*).

Untuk melihat fenomena terbentuknya lapisan batas kecepatan dan termal pada permukaan pelat datar serta distribusi temperatur fluida yang melewati permukaan suatu pelat, maka dilakukan pengujian tentang visualisasi aliran, tebal lapisan batas kecepatan dan termal serta distribusi temperatur aliran air pada permukaan pelat tersebut.

1.2. Tujuan

1. Mengamati visualisasi aliran pada permukaan pelat datar dan fenomena terbentuknya lapisan batas kecepatan dan termal aliran air pada permukaan pelat datar.
2. Mengukur distribusi temperatur aliran air serta menghitung tebal lapisan batas kecepatan dan termal aliran air pada permukaan pelat datar.

1.3. Batasan Masalah

1. Dengan keterbatasan waktu dan biaya, penelitian hanya dilakukan untuk pelat datar.
2. Alat uji hanya berlaku untuk air sebagai fluida kerja dan alirannya merupakan aliran laminar di luar permukaan pelat dengan kecepatan aliran konstan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lapisan Batas

Konsep lapisan batas pertama kali dikemukakan oleh ilmuwan Jerman, Prandtl, pada 1904. Pada dasarnya lapisan batas membagi daerah aliran sekitar benda ke dalam dua domain; pertama, lapisan tipis yang meliputi permukaan benda tersebut dimana gradien kecepatan dan gaya viskosnya besar, dan kedua, daerah di luar lapisan batas tersebut dimana kecepatan hampir sama dengan nilai aliran bebas (*free-stream*) serta efek viskositas dapat diabaikan. Dengan memakai konsep lapisan batas, persamaan gerak yang biasanya disebut persamaan *Navier-Stokes*, dapat diturunkan ke bentuk yang dapat diselesaikan. Pengaruh viskositas terhadap aliran dapat ditentukan dan koefisien gesekan sepanjang permukaan dapat dihitung. Konsep lapisan batas juga sangat penting dalam pemahaman tentang perpindahan panas konveksi.

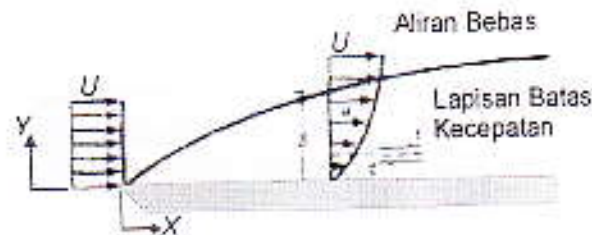
Fluida yang mengalir di atas suatu permukaan, apakah aliran laminar atau turbulen, maka partikel-partikel berada dekat sekali ke permukaan bergerak lambat akibat gaya-gaya viskos. Partikel-partikel fluida yang bersinggungan dengan permukaan, menempel pada permukaan tersebut dan kecepatannya adalah nol relatif terhadap lapisan batas. Partikel-partikel fluida yang lain berusaha untuk bergerak lambat di atas partikel yang menempel pada batas dan akan diperlambat sebagai akibat interaksi antara gerakan fluida yang lebih cepat dan fluida yang lebih lambat. Hal ini merupakan fenomena yang meningkatkan gaya geser. Pada aliran laminar interaksi tersebut dikenal dengan geseran-viskos, yang terjadi antara molekul-molekul pada skala yang sangat kecil (*submikroskopik*). Dalam aliran turbulen interaksi antara bagian fluida terjadi pada skala makroskopik yang disebut dengan geseran-turbulen, disuperposisikan terhadap geseran-viskos.

Efek gaya viskos yang berasal dari perluasan batas sampai ke partikel fluida, tetapi pada jarak yang kecil dari batas permukaan kecepatan partikel-partikel fluida sudah mendekati aliran bebas tanpa gangguan (*undisturbed freestream velocity*). Fluida yang terdapat dalam daerah nyata dimana perubahan kecepatannya besar disebut *lapisan batas hidrodinamik*. Tebal lapisan batas

tersebut didefinisikan sebagai jarak dari permukaan dimana kecepatan lokal mencapai 99 % dari kecepatan eksternal u_∞ .

2.1.1. Lapisan Batas Kecepatan

Misalkan aliran fluida viskos di permukaan pelat datar seperti terlihat pada gambar 2.1. Partikel – partikel fluida yang berkontak dengan permukaan, kecepataannya diasumsikan sama dengan nol. Partikel – partikel tersebut bergerak memperlambat gerak partikel – partikel pada lapisan fluida yang berdekatan dan memperlambat partikel pada lapisan berikutnya sampai pada jarak $y = \delta$ dari permukaan, dimana pengaruh viskositas diabaikan.



Gambar 2.1; Konsep lapisan batas untuk aliran di permukaan pelat datar

Dengan meningkatnya jarak y dari permukaan, maka jarak x komponen kecepatan fluida u juga meningkat sampai mendekati harga kecepatan bebas u_∞ . Tanda ∞ digunakan untuk menunjukkan kondisi di luar aliran bebas lapisan batas.

Kuantitas δ didefinisikan sebagai tebal lapisan batas dan secara khusus diartikan sebagai nilai y untuk $u = 0.99 u_\infty$. Profil lapisan batas kecepatan berhubungan dengan keadaan dimana u bervariasi terhadap y melalui lapisan batas. Dengan demikian, aliran fluida dibedakan oleh dua daerah nyata, yaitu pertama lapisan batas dimana gradien kecepatan dan tegangan gesernya besar dan kedua, daerah diluar lapisan batas dimana gradien kecepatan dan tegangan geser diabaikan.

2.1.2 Lapisan Batas Termal

Lapisan batas termal terbentuk jika ada aliran fluida dan perbedaan temperatur permukaan. Misalkan, aliran fluida di atas pelat datar isothermal dimana pada sisi masuk profil temperatur seragam dengan $T_{(y)} = T_\infty$ seperti terlihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2; Perkembangan lapisan bata termal di atas pelat datar isothermal

Partikel – partikel fluida yang bersentuhan dengan pelat mencapai kesetimbangan termal pada temperatur permukaan pelat. Kemudian partikel – partikel tersebut saling mempertukarkan energi dengan partikel – partikel yang terdapat pada

lapisan fluida yang berdekatan dan membentuk gradien temperatur pada fluida. Daerah fluida dimana terdapat gradien temperatur adalah lapisan batas termal dan tebalnya δ_t yang secara khusus diartikan sebagai nilai y terhadap rasio $[(T_s - T)/(T_s - T_\infty)] = 0,99$.

2.2 Aliran Laminar di Atas Pelat Datar

2.2.1 Distribusi Kecepatan

Distribusi kecepatan untuk aliran diatas permukaan suatu benda ditentukan melalui sepasang persamaan diferensial parsial yang dikenal dengan persamaan *kontinuitas* dan *momentum*. Disamping itu juga dikenal metoda pendekatan analisis sederhana untuk menyelesaikan persoalan kecepatan aliran yaitu dikenal dengan *metoda integral*. Untuk menghasilkan bentuk integral persamaan gerak, persamaan kontinuitas dan momentum dimanipulasi dengan mengintegrasikan dan menghilangkan komponen kecepatan normalnya. Karena cara ini menghasilkan persamaan berikut yang disebut dengan persamaan *integral momentum*:

$$\frac{d}{dx} \left[\int_0^{\delta(x)} u(u_\infty - u) dy \right] = \nu \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0}, \quad 0 < y < \delta(x) \quad (2.2a)$$

dimana x dan y adalah koordinat yang dihitung sepanjang pelat dalam arah aliran dan normal permukaan permukaan pelat. Sebagai tambahan u_∞ adalah kecepatan aliran yang dihitung jauh dari pelat dan ν adalah viskositas kinematik fluida. Penyelesaian persamaan (2.2a) di atas dengan memasukkan kondisi batas dan prosedur integrasi diperoleh :

$$\delta^2(x) = \frac{30\nu x}{u_\infty} \text{ atau } \delta(x) = \sqrt{\frac{30\nu x}{u_\infty}} \quad (2.2b)$$

Persamaan untuk $\delta(x)$ disusun dalam bentuk tak-berdimensi, sebagai

$$\frac{\delta(x)}{x} = \sqrt{\frac{30}{Re_x}} = \frac{5,48}{Re_x^{1/2}} \quad (2.2c)$$

dimana bilangan Reynold lokal Re_x didefinisikan sebagai,

$$Re_x = \frac{u_\infty x}{\nu} \quad (2.2d)$$

2.2.2 Distribusi Temperatur

Secara umum, distribusi temperatur pada aliran ditentukan dari penyelesaian persamaan energi, dimana suatu persamaan diferensial parsial yang terdiri dari komponen kecepatan. Suatu pendekatan solusi untuk distribusi temperatur $T(x,t)$ dapat diperoleh dengan melakukan integral persamaan energi yang disebut dengan *persamaan integral energi*, yaitu

$$\frac{d}{dx} \left[\int_0^{\delta_t} u(T - \theta) dy \right] = \alpha \left. \frac{\partial \theta}{\partial y} \right|_{y=0}, \quad 0 < y < \delta_t \quad (2.3a)$$

Dengan menyelesaikan persamaan (2.3a) di atas diperoleh tebal lapisan batas termal $\delta_t(x)$ yaitu :

$$\delta_t(x) = \left(\frac{4}{5}\right)^{1/3} Pr^{-1/3} \sqrt{\frac{30\nu x}{u_w}}$$

dapat disusun sebagai;

$$\delta_t(x) = 5.085 \frac{x}{Pr^{1/3} Re_x^{1/2}} \quad (2.3b)$$

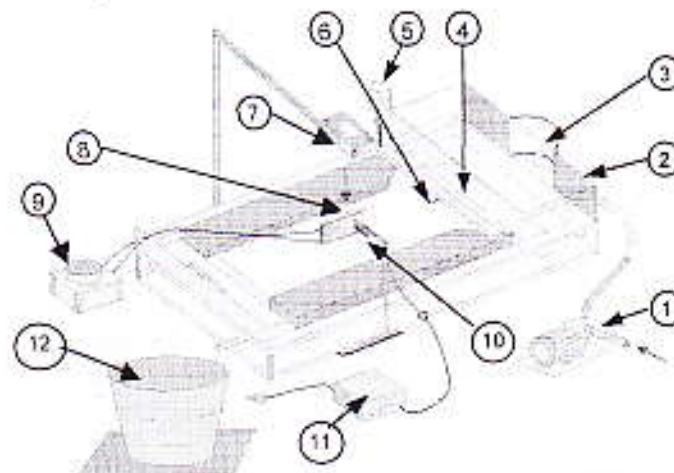
dimana,

$$Re_x = \frac{u_w x}{\nu} \quad \text{dan} \quad Pr = \frac{\nu}{\alpha}$$

3. METODOLOGI

3.1. Peralatan Pengujian

Gambar instalasi alat penukar panas dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Keterangan :

- | | |
|------------------------------|--|
| 1. Pompa | 7. Kamera |
| 2. Reservoir air | 8. Spesimen uji (pelat datar) |
| 3. Saluran air masuk (inlet) | 9. Pengatur tegangan (regulator voltage) |
| 4. Gerbang aliran air | 10. Kawat termakopel |
| 5. Reservoir dye/linta | 11. Multimeter digital |
| 6. Jarum injeksi dye | 12. Reservoir penampung |

Gambar 3.1. Instalasi pengujian

3.1.1 Instalasi Pompa dan Perlengkapannya

A. Pompa

Pompa berfungsi untuk memompakan air dari *reservoir* melewati spesimen uji. Untuk pengujian ini digunakan pompa aksial tipe *submersible pump*.

B. Katup dan Sambungan

Katup berfungsi untuk mengatur debit atau kecepatan aliran, baik dengan membuka maupun menutupnya sesuai dengan kebutuhan. Sambungan banyak diperlukan dalam instalasi pemipaan, baik sambungan untuk menghubungkan antara pipa, maupun antara pipa dengan peralatan lainnya.

C. Selang

Selang digunakan sebagai saluran air dari pompa dan menuju reservoir alat uji. Pemilihan selang ini disesuaikan dengan ukuran katup dan saluran masuk ke reservoir alat uji.

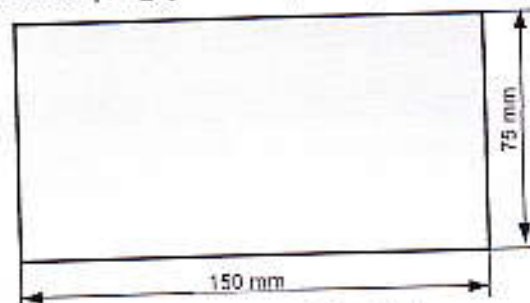
D. Wadah penampung (*reservoir*)

Reservoir berfungsi sebagai penyedia dan penampung air sebagai fluida kerja. Pada instalasi pengujian ini dipakai dua buah *reservoir*, yang pertama untuk menampung air sebelum dipompakan dan yang kedua sebagai penampung air pada alat uji. Ketinggian air pada reservoir kedua ini diusahakan konstan.

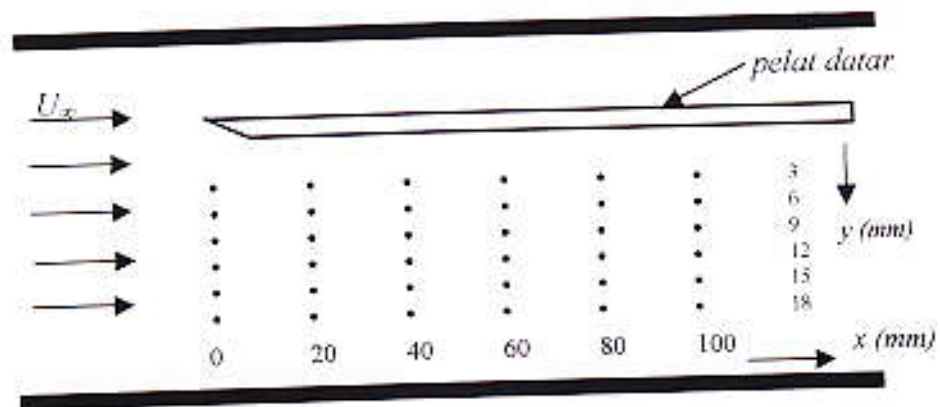
3.1.2 Spesimen Uji dan Pemanas

A. Spesimen Uji

Spesimen uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat datar yang terbuat dari aluminium. Dimensi spesimen uji dan posisi pengukuran temperatur pada seksi pengujian ditunjukkan pada gambar 3.2 dan 3.3.



Gambar 3.2; Pelat datar



Gambar 3.3: Posisi pengukuran pada peksi uji

B. Pemanas

Untuk dapat memberikan pemanasan yang konstan dan dapat diatur daya pemanasannya, maka dipilih pemanas tahanan listrik berupa kawat pemanas yang dicatu oleh tegangan bolak balik dari sebuah transformator yang dapat diatur tegangan keluarannya (*regulator voltage*). Tahanan listrik kawat pemanas ini adalah $1.085 \Omega/m$ dengan diameter 2 mm dan panjang 45 cm.

3.1.3 Instrumentasi Alat Ukur

Dalam pengujian ini beberapa parameter yang diamati dan diukur adalah :

- Visualisasi aliran diluar permukaan spesimen uji
- Temperatur air masuk seksi pengujian
- Temperatur spesimen uji
- Distribusi temperatur aliran air diluar permukaan spesimen uji
- Debit dan laju aliran air masuk seksi pengujian

A. Alat Visualisasi Aliran

Untuk melihat fenomena tebal lapisan batas kecepatan diluar permukaan benda salah satunya melalui visualisasi aliran dengan menggunakan *dye* (bahan warna seperti tinta). *Dye* tersebut dialirkan dari reservoirnya melalui jarum injeksi. Pada waktu tertentu aliran *dye* mengenai permukaan spesimen uji dan akan direkam melalui sebuah kamera digital. Data visualisasi yang terekam oleh kamera adalah dalam bentuk file gambar/photo

B. Alat Ukur Temperatur

1. Termokopel

Alat ukur yang digunakan untuk pengukuran distribusi temperatur pada semua stasiun pengukuran temperatur di luar permukaan alat uji ini adalah *termokopel*. Pengukuran temperatur ini bertujuan untuk mendapatkan distribusi temperatur dan hubungannya dengan tebal lapisan batas termal aliran air di luar permukaan spesimen uji. Kawat termokopel yang digunakan adalah tipe T; *copper-constantan*, diameter $76,2 \mu\text{m}$ ($0,03''$) dengan range pengukuran temperatur -185 s.d $400 \text{ }^\circ\text{C}$ dan rentang voltage $-5,285$ s.d $20,805 \text{ mV}$ serta *time constant* $0,005$ detik. Termokopel ini dihubungkan ke multimeter digital yang merupakan suatu rangkaian elektronik untuk menampilkan beda tegangan dalam mV yang dibaca oleh sensor termokopel.

2. Termometer

Termometer digunakan untuk mengkonversikan hasil bacaan termokopel dalam mV ke $^\circ\text{C}$ saat pembuatan grafik kalibrasi (pembanding). Termometer yang digunakan adalah termometer dengan cairan perasa alkohol dan skala $0 - 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

C. Pengukuran Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran air pada saat pengujian ini dipertahankan konstan. Kecepatan aliran air yang melewati seksi pengujian diperoleh dengan menampung air pada suatu reservoir yang telah ditentukan volumenya dalam hal ini 5 liter ($0,005 \text{ m}^3$). Waktu yang dibutuhkan untuk menampung air sampai mencapai volume tersebut dihitung dengan menggunakan *stop watch*. Debit aliran air diperoleh dengan membagi volume yang telah ditetapkan dengan waktu yang terpakai untuk menampung air sebesar volume tersebut. Kecepatan aliran diperoleh dengan membagi debit aliran air dengan luas penampang seksi pengujian. Karena debit dan luas penampang seksi pengujian konstan maka diperoleh kecepatan aliran yang konstan.

3.2 Fluida Kerja

Fluida kerja yang dipilih dalam pengujian tebal lapisan batas kecepatan dan termal ini adalah *air*. Pemilihan ini didasarkan pada pertimbangan berikut ini :

- Air merupakan fluida kerja yang mudah didapat.
- Air cukup aman digunakan dan untuk mengalirkannya ke instalasi pengujian cukup dengan menggunakan pompa air.

3.3 Kalibrasi Sistem Pengukuran

Kalibrasi yang dilakukan adalah kalibrasi temperatur termokopel. Proses kalibrasi ini dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran temperatur dari 25 - 60°C pada skala termometer dengan beda tegangan yang dihasilkan oleh termokopel.

3.4 Asumsi – asumsi

Beberapa asumsi dipakai dalam pengujian ini sebagai berikut :

- Air sebagai fluida kerja merupakan zat inkompresibel
- Sistem alat uji ini saat beroperasi berada dalam keadaan stasioner
- Aliran fluida kerja di seksi pengujian adalah aliran laminar
- Tidak terjadi kebocoran pada seksi uji dan saluran air.
- Percepatan gravitasi (g) adalah $9,81 \text{ m/s}^2$

3.5 Pengujian

3.5.1 Tujuan Pengujian

- Melihat visualisasi aliran pada permukaan pelat datar
- Mendapatkan distribusi temperatur aliran air pada permukaan pelat datar.

3.5.2 Prosedur Pengujian

A. Pengujian I : Visualisasi aliran di luar permukaan spesimen uji.

1. Pasang instalasi pengujian seperti pada skema instalasi pengujian gambar 3.1.
2. Isi reservoir dengan air bersih sesuai dengan kebutuhan.
3. Hidupkan pompa. Atur katup *inlet* aliran dengan bukaan tertentu sehingga aliran air pada seksi uji tidak bergolak. Catat temperatur air masuk seksi pengujian.
4. Tunggu sampai seluruh permukaan seksi uji dilewati oleh air (kondisi stasioner). Alirkan tinta dengan mengatur katup salurannya.
5. Catat waktu pada saat volume air di reservoir penampung mencapai 5 liter ($0,005 \text{ m}^3$)
6. Rekam (*record*) visualisasi aliran dengan kamera
7. Ulangi prosedur 5 dan 6 dengan memvariasikan temperatur pelat datar.

B. Pengujian II : Distribusi temperatur aliran air pada permukaan pelat datar.

1. Ulangi prosedur 1 sampai 5 pada pengujian I. Variasikan temperatur pelat datar (30° , 40° , 50° , 60° , 70° dan 80° C) untuk jarak 0, 2, 4, 6, 8 dan 10 cm dari ujung depan pelat datar.
2. Catat beda tegangan termokopel yang ditunjukkan oleh *multitester* digital.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

4.1.1 Visualisasi Aliran pada Permukaan Pelat Datar

Hasil pengujian visualisasi aliran pada permukaan pelat datar diperlihatkan pada gambar 4.1. Dimana gambar 4.1a menunjukkan visualisasi aliran tanpa pemanasan pelat datar dan gambar 4.1b menunjukkan visualisasi aliran dengan pemanasan pelat datar.

4.1.2 Distribusi Temperatur Aliran Air pada Permukaan Pelat Datar

Aliran air pada seksi pengujian adalah aliran laminar. Hal ini berdasarkan bilangan Reynolds rata – rata yang diperoleh dari pengujian sebesar 1684. Dengan demikian tebal lapisan batas kecepatan dan termal aliran pada permukaan pelat datar masing – masing dapat dihitung persamaan berikut;

$$\delta_v(x) = 5,48 \frac{x}{Re_x^{1/2}} \quad (4.1)$$

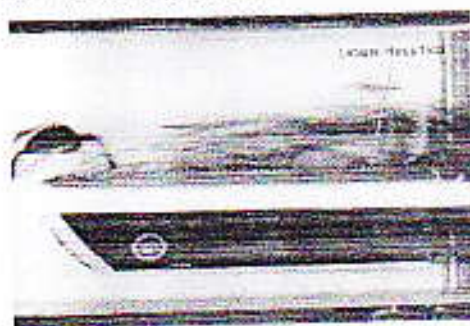
dan

$$\delta_t(x) = 5,085 \frac{x}{Pr^{1/3} \cdot Re_x^{1/2}} \quad (4.2)$$

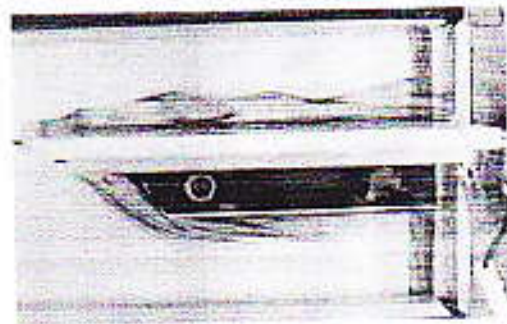
dimana $\delta_v(x)$ adalah tebal lapisan batas kecepatan dan $\delta_t(x)$ adalah tebal lapisan batas termal.

Hasil distribusi temperatur aliran air di luar permukaan pelat untuk jarak 0, 2, 4, 6, 8 dan 10 cm dari ujung depan pelat serta temperatur pelat yang divariasikan dapat dilihat pada gambar 4.2a-f. Pada gambar 4.3a-f, ditampilkan bentuk permukaan (*surface contour*) distribusi temperatur dalam bentuk 3D dengan bantuan software Matlab 5.

a. Visualisasi aliran

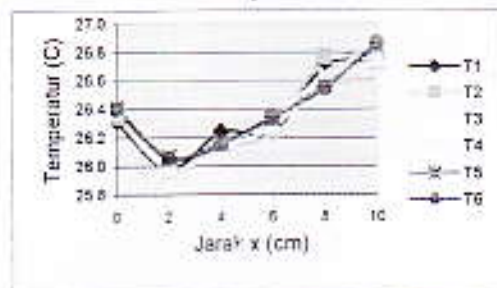


Gbr 4.1a; Visualisasi aliran tanpa pemanasan pelat (skala 1:1)

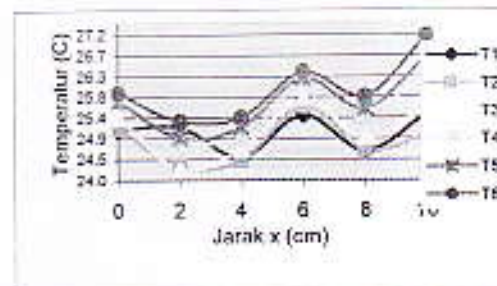


Gbr 4.1b; Visualisasi aliran dengan pemanasan pelat (skala 1:1)

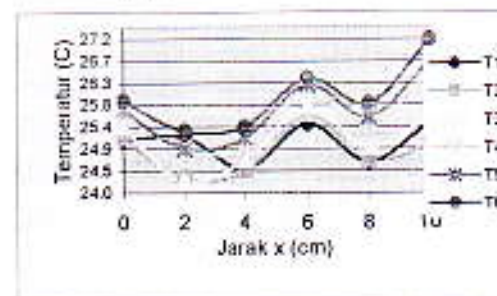
b. Distribusi Temperatur



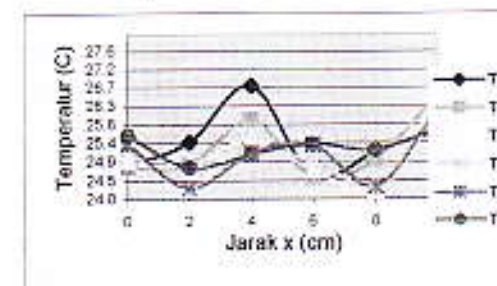
Gbr 4.2a, Distribusi temperatur air
($T_{pelat} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$)



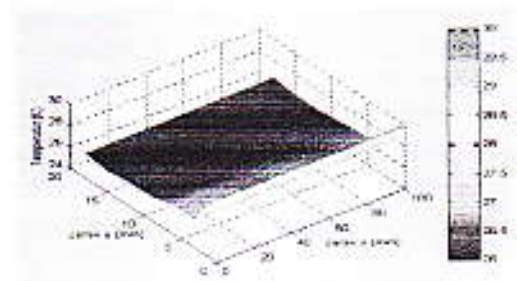
Gbr 4.2b, Distribusi temperatur air
($T_{pelat} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$)



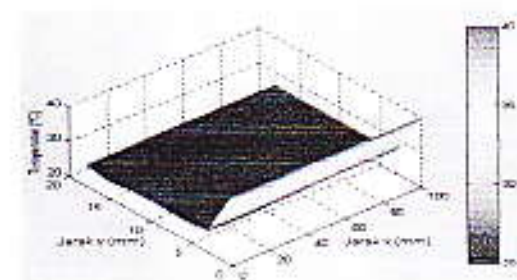
Gbr 4.2c, Distribusi temperatur air
($T_{pelat} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$)



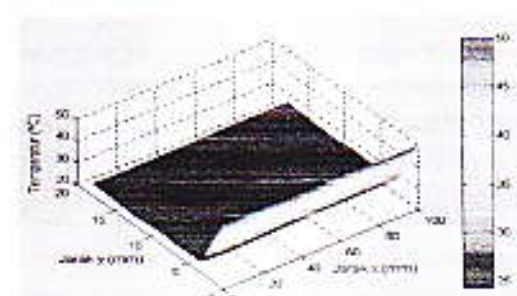
Gbr 4.2d, Distribusi temperatur air
($T_{pelat} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$)



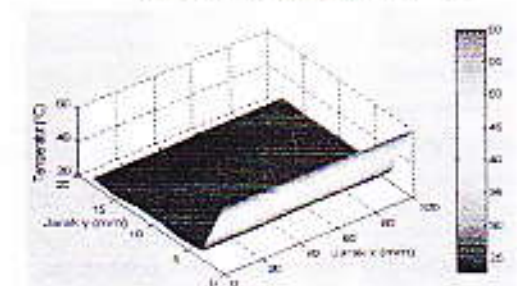
Gbr. 4.3a, Bentuk permukaan distribusi
temperatur air ($T_{pelat} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$)



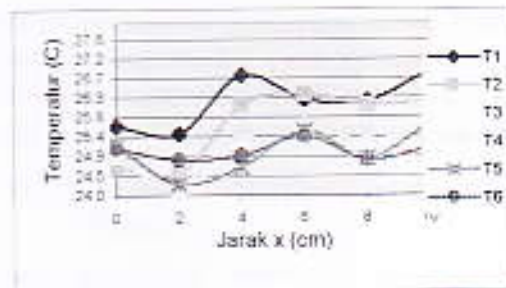
Gbr. 4.3b, Bentuk permukaan distribusi
temperatur air ($T_{pelat} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$)



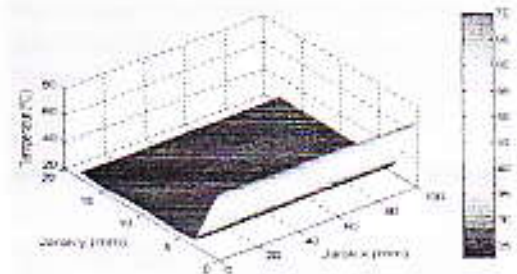
Gbr. 4.3c, Bentuk permukaan distribusi
temperatur air ($T_{pelat} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$)



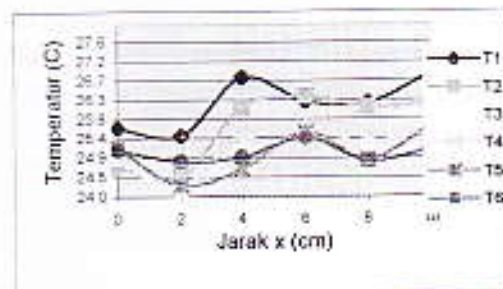
Gbr. 4.3d, Bentuk permukaan distribusi
temperatur air ($T_{pelat} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$)



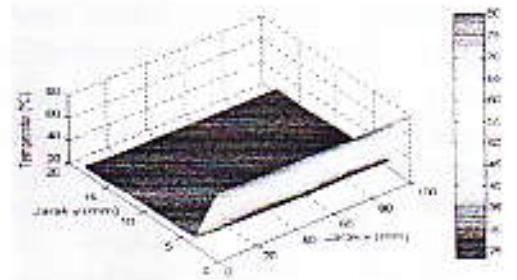
Gbr. 4.2e, Distribusi temperatur air
($T_{\text{pelat}} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$)



Gbr. 4.3e, Bentuk permukaan distribusi
temperatur air ($T_{\text{pelat}} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$)



Gbr. 4.2f, Distribusi temperatur air
($T_{\text{pelat}} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$)



Gbr. 4.3f, Bentuk permukaan distribusi
temperatur air ($T_{\text{pelat}} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

4.2 Pembahasan

Berdasarkan data dan grafik yang didapat dari pengukuran distribusi temperatur aliran air pada permukaan pelat datar, dapat dibahas sebagai berikut :

4.2.1 Analisis Visualisasi Aliran untuk Tebal Lapisan Kecepatan dan Termal

Visualisasi aliran pada permukaan pelat datar tanpa maupun dengan pemanasan pelat seperti ditunjukkan pada gambar 4.1a dan 4.1b di atas secara visual dapat dilihat bahwa adanya lintasan – lintasan halus dalam *lamina – lamina* yang divisualkan melalui tinta sebagai media visualisasinya. Pada saat tinta menyentuh pelat terlihat ada sedikit olakan karena terhalangnya aliran air oleh bagian depan pelat. Pada permukaan pelat terlihat bahwa aliran fluida relatif diam karena pengaruh gaya viskos. Hal ini ditandai dengan aliran tinta yang tepat di permukaan pelat yang juga cenderung diam dan menempel sepanjang permukaan pelat. Tebal lintasan – lintasan tipis yang dibentuk oleh tinta sepanjang pelat merupakan nilai perkiraan (*estimasi*) sebesar $\pm 7 \text{ mm}$. Perkiraan ini didasarkan pada skala yang ditempatkan pada alat uji sepanjang lintasan aliran air. Sedangkan nilai teoritik tebal lapisan batas kecepatan dan termal yang diperoleh masing – masingnya berkisar dari 2.4 sampai 9.8 mm. Dengan demikian hasil pengujian ini mendekati nilai teoritiknya sebesar 71,4 %.

Kemudian dari gambar 4.1a dan 4.1b terlihat tidak ada perbedaan yang signifikan dari aspek visualisasi yang ditampilkan antara pelat yang tidak dipanaskan dengan yang dipanaskan. Hal ini disebabkan karena keterbatasan media visualisasi dan alat pengambilan objek visualisasi yang digunakan. Tinta yang digunakan sebagai

media visualisasi cenderung cepat bercampur dengan air karena dekatnya jarak antara ujung injeksi tinta dengan pelat. Disamping itu kamera yang digunakan tidak dapat merekam objek visualisasi lebih dekat dari 30 cm tegak lurus terhadap objek dan sulitnya menempatkan kamera saat pengambilan objek tersebut.

4.2.2 Analisis Distribusi Temperatur Aliran Air pada Permukaan Pelat Datar.

Hasil pengujian distribusi temperatur aliran air dengan sensor termokopel pada jarak – jarak tertentu dari ujung depan pelat seperti yang ditunjukkan gambar 4.2a–f, secara umum terlihat bahwa distribusi temperatur aliran akan menurun jika semakin jauh dari permukaan pelat datar yang dipanaskan. Kondisi ini berlangsung seragam dan konstan pada setiap kenaikan temperatur pemanasan pelat. Dengan demikian, terlihat bahwa pemanasan pelat dari temperatur 30 – 80 °C tidak berpengaruh terhadap perubahan temperatur aliran air. Hanya saja aliran air yang dekat ke permukaan pelat mempunyai temperatur yang tinggi sedangkan temperatur aliran yang berada pada aliran bebasnya tidak ada perubahan sama sekali. Artinya pada daerah ini temperatur aliran air sama dengan temperatur air masuk seksi pengujian sekitar 26 °C.

Distribusi temperatur aliran air pada permukaan pelat yang cenderung seragam dan konstan ini dapat diperkirakan bahwa hal tersebut disebabkan pengaruh kecepatan aliran air. Kecepatan aliran air yang konstan sebesar 0.0271 m/s menyebabkan partikel – partikel aliran air yang berkontak dengan permukaan pelat dan antar lapisan – lapisan yang terbentuk berlangsung sangat cepat. Disamping itu dimensi luas permukaan pelat datar yang dipanaskan kecil dan lama waktu pemanasan yang relatif singkat tidak berpengaruh dalam merubah temperatur aliran air yang melewati permukaannya.

Pada grafik kontur distribusi temperatur air di luar permukaan pelat dapat diperhatikan bahwa secara umum distribusi temperatur aliran air turun secara linear terhadap posisi yang semakin jauh dari permukaan pelat kecuali untuk kondisi pemanasan pelat sebesar 30°C. Dimana pada beberapa titik pengujian ditemukan kejanggalan yaitu temperatur pada suatu titik tertentu lebih tinggi dari temperatur pada titik sebelumnya. Kejanggalan tersebut dapat dianalisa sebagai berikut :

1. Temperatur – temperatur di titik pengujian diperkirakan berfluktuasi selama pengujian namun tidak terekam oleh sensor *termokopel* yang digunakan. Proses pencatatan data yang terbaca oleh alat ukur belum pada kondisi tunak (*steady state*). Sehingga masih terjadi fluktuasi dan perubahan parameter – parameter yang dicatat tersebut.
2. Ada kemungkinan bahwa data yang terekam oleh termokopel dipengaruhi oleh susunan termokopel yang sebaris dengan jarak antara termokopel sebesar 3 mm. Dimana data yang terekam termokopel paling luar dipengaruhi oleh tahanan termokopel sebelumnya atau sebaliknya.
3. Pengujian dilakukan pada arah sumbu-y konstan dan arah sumbu-x yang bervariasi dari jarak 0 cm sampai jarak 10 cm pada setiap kelipatan 2 cm, sehingga temperatur titik – titik yang berada di antaranya tidak tercatat. Bisa saja temperatur di titik – titik antara tersebut lebih tinggi atau sebaliknya namun tidak terekam, sementara grafik yang ditampilkan pada gambar 4.3 a-f

diperoleh melalui proses interpolasi yang dilakukan pada data – data yang tercatat saja sebagai fungsi posisi sumbu-x dan y lintasan aliran air.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Tebal lapisan batas aliran air pada permukaan pelat datar dari hasil pengujian mendekati nilai teoritiknya dengan perbandingan sebesar 71,4 %.
2. Tinta sebagai media visualisasi aliran fluida inkompresibel (air), dapat digunakan dan direkam dengan menggunakan kamera guna mendapatkan profil aliran dan tebal lapisan batas yang terbentuk.
3. Tidak terdapat perbedaan yang signifikan distribusi temperatur aliran air pada permukaan pelat datar yang dipanaskan dengan variasi temperatur tertentu.

5.2 Saran

1. Untuk mendapatkan hasil visualisasi aliran yang jelas dan akurat dilakukan dengan menggunakan metoda lain seperti interferensi cahaya.
2. Pengujian dilakukan dengan memakai pelat data dengan dimensi yang berbeda.
3. Pengujian dilakukan dengan sistem akuisisi data sehingga data dan posisi pengambilan data dapat lebih banyak dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Frank M. White, 1991. "*Mekanika Fluida*", Jilid 2. Penerbit Erlangga, Jakarta.
2. Frank Kreith, 1973. "*Principles of Heat Transfer*", 3rd., Happer & Row Publishers Inc. New York.
3. Frank P Incropera, 1996 "*Fundamentals of Heat Transfer and Mass Transfer*", 4th edition. John Wiley & Sons Inc, New York.
4. Jack P, Holman, 1993 "*Perpindahan Kalor*", Edisi ke-6, Penerbit Erlangga, Jakarta.
5. James E. A. John, dan William L. Habermen. 1983. "*Introduction to Fluid Mechanic*", 2nd edition, Prentice Hall of India Private Limited New Delhi.
6. Hermann Schlichting, 1955 "*Boundary Layer Theory*", London : Pergamon Press Ltd. Karlsruhe : Verlag G. Braun.
7. Necati M Ozisik, dan Yildiz Bayazitoglu. 1988. "*Element of Heat Transfer*", McGraw-Hill Book Company. Singapore.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana dengan dibiayai oleh dana SPP-DPP Lembaga Penelitian Universitas Andalas. Terima kasih penulis sampaikan kepada Lembaga Penelitian Universitas Andalas, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Unand dan semua pihak terkait dengan penelitian ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.